

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: HET NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

EEN TELEVISIE-ONTVANGTOESTEL

door C. L. RICHARDS.

Samenvatting. In dit artikel wordt een televisie-ontvanger beschreven, die ontworpen is voor twee systemen van uitzending met respectievelijk 240 en 405 lijnen per beeld, het laatste geïnterlinieerd.

De inrichting van een televisie-ontvanger hangt ten nauwste samen met de inrichting van de zender, welks uitgezonden beeld men wil ontvangen, in het bijzonder met de wijze van aftasten en de aard en vorm der synchronisatiesignalen, die in de zender worden gebruikt.

De televisie-ontvanger, die hier beschreven zal worden, is ingericht voor het ontvangen van de onlangs in gebruik genomen zender der British Broadcasting Corporation in Londen en van de experimenteele televisiezender van het Philips Laboratorium. Bij de Londensche zender worden beurtelings twee verschillende systemen van aftasten gebruikt. Het eene systeem werkt met 25 beelden per sec, 240 lijnen per beeld en een beeldformaat van 3 hoog : 4 breed; het andere systeem heeft geïnterlinieerde aftasting met 2×25 beelden per sec, $202\frac{1}{2}$ lijnen per beeld en een beeldformaat 4 : 5. De Philips zender heeft een aftaststelsel, dat instelbaar is van 25 beelden met 90 lijnen per beeld tot 2×25 beelden met $202\frac{1}{2}$ lijnen per beeld geïnterlinieerd.

Waar bij deze zenders verder de wijze, waarop beeld- en synchronisatiesignalen op de draaggolf worden gemoduleerd, in wezen overeenstemt, is het mogelijk, eenzelfde ontvanger voor de verschillende gevallen te gebruiken; wel zijn twee verschillende aftastinrichtingen aanwezig, die ieder op zichzelf ook nog regelbaar zijn, zoodat men door omschakelen van de eene inrichting op de andere een groote soepelheid wat betreft de wijze van aftasten heeft. Rekening houdende met de zeer hoge modulatiefrequenties, die het aftasten van het beeld met een onderverdeeling in 405 lijnen medebrengt, is de ontvanger ontworpen voor een

hoogste modulatiefrequentie van $2,5 \cdot 10^6$ perioden per sec.

De vorm van de signalen

Het beeld en het bijbehorende geluid worden, ieder op een eigen draaggolf gemoduleerd, uitgezonden. Bij de Londensche zender bijv. is het beeld gemoduleerd op een golf van $45 \cdot 10^6$ perioden per sec. (6,67 meter), het geluid op een golf van $41,5 \cdot 10^6$ perioden per sec. (7,23 meter). In fig. 1 ziet men, op welke

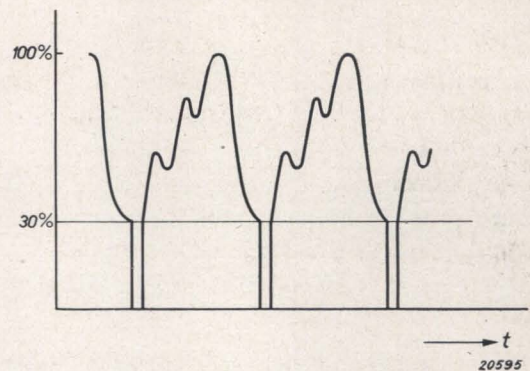


Fig. 1. Verloop van de amplitude der hoogfrequente trillingen voor een met televisiesignalen gemoduleerde golf.

wijze de modulatie van het beeld en de bijbehorende synchronisatiesignalen geschiedt. De ordinaten geven de amplituden van de hoogfrequente trillingen aan, uitgedrukt in percenten van de maximale amplitude. Is geen beeldsignaal aanwezig, hetgeen dus overeenkomt met „zwart” in het beeld, dan is de modulatie der hoogfrequente trillingen 30%. Bij het aftasten van een lijn van het beeld, waarbij de helderheid op wisselende wijze van zwart tot helder wit varieert, wordt de draaggolf meer of

minder diep gemoduleerd; hierbij wisselt de modulatie dan tusschen 30 % en 100 %. Aan het eind van iedere regel wordt korte tijd de draaggolf geheel onderdrukt (modulatie 0), deze val der modulatie van 30 % op 0, die telkens aan het eind van iedere lijn optreedt, vormt het lijnsynchronisatiesignaal. Evenzoo treedt dan aan

over een zeer breed frequentiegebied een constante versterking geven. Het is dus niet mogelijk kringen met scherpe resonantie te gebruiken, waardoor de per trap bereikbare versterking zeer verminderd wordt. Verder is het bij de beeldontvangst — in tegenstelling tot geluidontvangst — van belang, dat de onderlinge faseverhoudingen van de

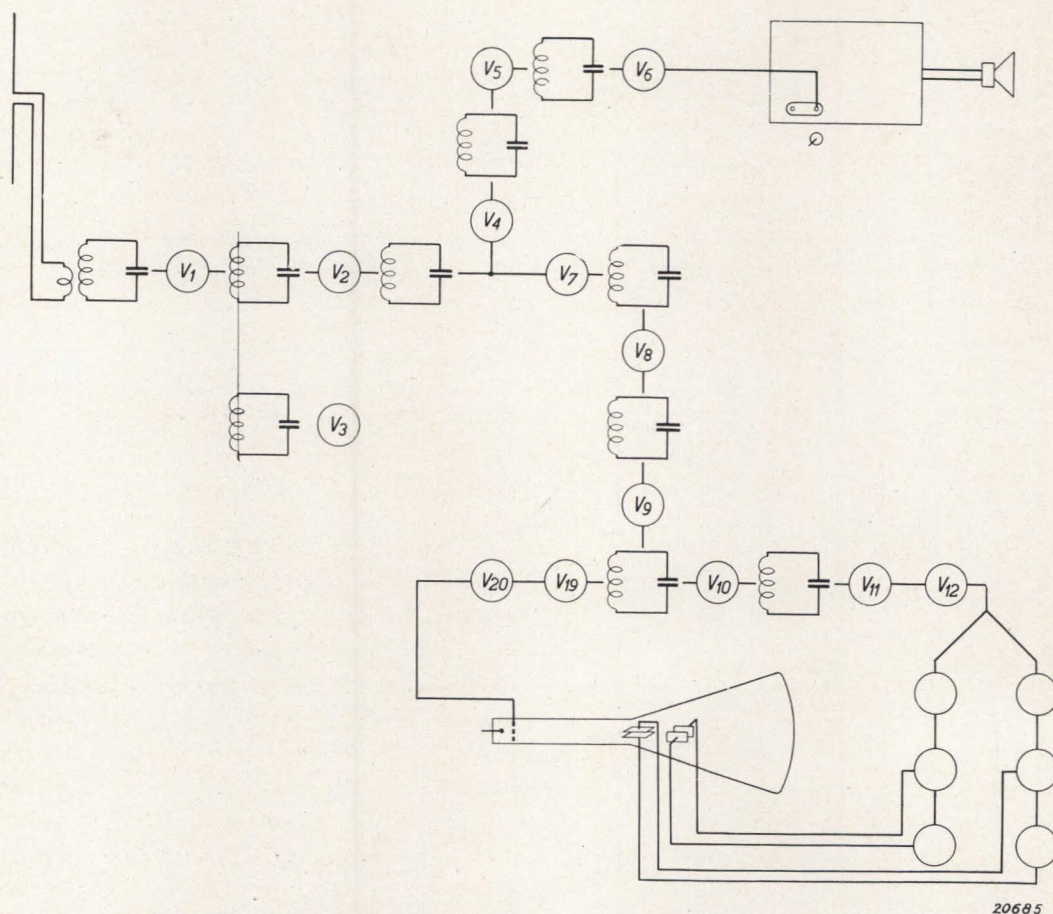


Fig. 2. Schema van de ontvanginginstallatie voor televisiebeelden met bijbehorend geluid.

V₁ Ultrakorte-golfversterkerlamp voor beeld en geluid.

V₂ menglamp met oscillator V₃.

V₄ tot V₆ versterking en gelijkrichting van geluidssignalen.

V₇ tot V₉ versterking van beeld- en synchronisatiesignalen.

V₁₉ en V₂₀ overdracht van beeldsignalen aan het stuurrooster van de kathodestraalbuis.

V₁₀, V₁₁, V₁₂ versterking van de synchronisatiesignalen en toevoer aan de bijbehorende zaagtandgeneratoren voor het afbuigen van de kathodestraal.

het eind van ieder beeld een beeldsynchronisatiesignaal op, dat in fig. 1 niet is weergegeven.

Voor het geval van geïnterlineerd aftasten worden synchronisatiesignalen ingevoerd op een minder eenvoudige manier dan hier is aangegeven, waarop hier echter niet zal worden ingegaan.

Eischen die aan de ontvanger gesteld moeten worden

In afwijking van een gewone omroepontvanger moet een ontvangtoestel voor televisiebeelden

componenten met verschillende frequentie, waaruit het beeldsignaal is opgebouwd, door de versterking niet wordt gewijzigd. Immers, de fase beïnvloedt de plaats, waar een signaal op het scherm wordt neergeschreven. Daarentegen is de beeldontvangst in zooverre eenvoudiger dan geluidontvangst, dat aanzienlijke niet-lineaire vervormingen toelaatbaar zijn. Hierdoor is het bijv. mogelijk, met de ontvangst van de draaggolf en van één der twee zijbanden te volstaan. Men heeft dan het groote

voordeel, dat de door te geven frequentieband maar half zoo breed is, waardoor de versterking van de verschillende trappen vrijwel het dubbele kan zijn.

Schema van de ontvanger

In een volledige televisie-ontvanger moet de golf, waarop het beeld is gemoduleerd, worden ontvangen, versterkt en gedetecteerd: het zoo verkregen beeldsignaal moet toegevoerd worden aan het stuurrooster van een kathodestraalbuis, zoodat op het fluoresceerende scherm van de buis een lichtvlekje wordt verkregen, waarvan de helderheid overeenkomt met die van de corresponderende punten in het oorspronkelijke beeld. Verder moet een aftast-inrichting aanwezig zijn in de vorm van twee zaagtand-generatoren, om het lichtvlekje het gehele scherm van de buis te laten „beschrijven”, en middelen om met behulp van de ontvangen synchronisatiesignalen deze aftastinrichting synchroon met die van de zender te laten werken. Daarnaast moet ook nog het, op een andere draaggolf gemoduleerde, geluid worden ontvangen, versterkt, gedetecteerd en aan een luidspreker worden toegevoerd.

In het hier beschreven toestel wordt een televisie-kathodestraalbuis gebruikt, waarmee een beeld van 25 bij 18 cm kan worden verkregen van een vrijwel witte kleur en voldoende helder om in een zwak verlichte kamer te worden bekeken. De buis werkt met een anodespanning van 5000 volt; de afbuiging van de kathodestraal geschiedt in beide richtingen electrisch met twee stel afbuigplaten; de benodigde afbuigspanningen hebben een grootte van ongeveer 1000 volt. De modulatiespanning op het stuurrooster van de buis moet ongeveer 30 volt bedragen.

In fig. 2 is een overzichtsschema van de ontvanger weergegeven. De beide draaggolven (beeld en geluid) worden door een antenne opgevangen en in een hoogfrequentietrap met de versterkerlamp V_1 samen versterkt; de frequentiekaracteristiek van deze trap moet daartoe natuurlijk voldoende breed zijn. In fig. 3 is boven rechts aangegeven het frequentiegebied, dat ingenomen wordt door de draaggolf met zijbanden, die op het beeld betrekking hebben, boven links het veel smallere gebied, waarin de andere draaggolf en het daarop gemoduleerde geluid zijn gelegen. Kromme 1 in dezelfde figuur stelt dan de frequentiekaracteristiek van de hoogfrequentieversterkertrap voor. De vóór en achter de versterkerlamp V_1 aanwezige hoogfrequentiekringen kunnen nog door regelbare condensatortjes worden bijgesteld, zoodat ze zoowel op de B.B.C.-

zender als op de Philipszender kunnen worden afgestemd.

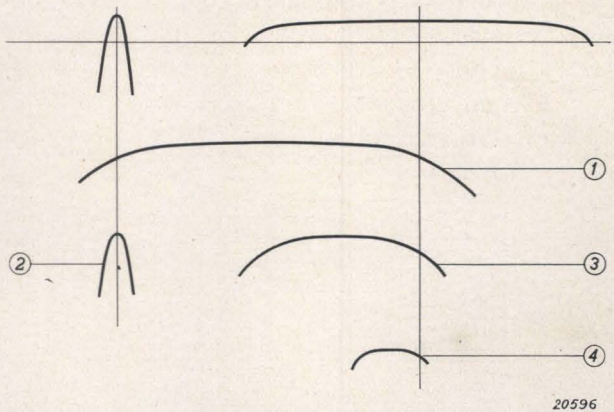


Fig. 3. Schematische aanduiding van frequentiegebieden: Boven: Uitgezonden signalen voor geluid en beeld.

- 1 karakteristiek van de trappen V_1 en V_2 (beeld en geluid).
- 2 karakteristiek van de trappen V_4 tot V_6 voor versterking van de geluidssignalen.
- 3 karakteristiek van de trappen V_7 tot V_9 voor versterking van beeld- en synchronisatiesignalen.
- 4 karakteristiek van de trappen V_{10} tot V_{12} voor versterking van de synchronisatiesignalen.

Om de golven voor beeld en voor geluid nu van elkander te scheiden wordt gebruik gemaakt van het uit de omroepontvangers welbekende superheterodyne-principe. De beide golven worden samen met een door een oscillator V_3 opgewekte hulpfrequentie toegevoerd aan de menglamp V_2 .

Voorbij de menglamp heeft men nu twee nieuwe draaggolven verkregen, beide van lagere frequentie dan de oorspronkelijke twee. Wij duiden die, naar analogie van wat bij de superheterodyne-omroepontvangers gebruikelijk is, aan met de naam van middelfrequente draaggolven, hoewel hun frequenties in een heel ander gebied (bijv. 10 en $7,5 \cdot 10^6$ perioden/sec) liggen dan bij omroepontvangers het geval is.

Op de eene middelfrequente draaggolf is het beeld, op de andere het geluid gemoduleerd. Samen worden ze gevoerd naar de roosters van twee middelfrequentieversterkerlampen V_4 en V_7 .

De anodekring van V_4 is afgestemd op de draaggolf, waarop het geluid is gemoduleerd, en wel heeft deze kring een smalle frequentiekaracteristiek, zoodat de andere draaggolf niet wordt doorgelaten. In fig. 3 is deze karakteristiek voorgesteld door kromme 2. Hierbij moet men wel bedenken, dat na passeeren van de menglamp de draaggolven naar een geheel andere frequentie zijn getransformeerd; waar het in fig. 3 echter alleen begonnen is om een overzicht te verkrijgen van de onderlinge verhoudingen van de frequentiekaracteristieken der verschillende trappen,

is met deze verplaatsing van de draaggolven in de figuur geen rekening gehouden. De middelfrequente draaggolf met de geluidsmodulatie wordt

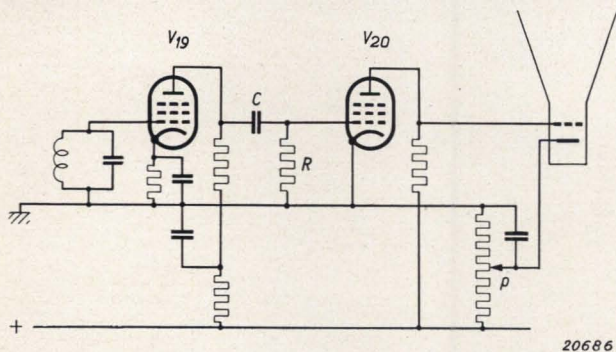


Fig. 4. Schakeling van de trappen V_{19} en V_{20} , die het beeldsignaal naar het stuurrooster van de kathodestraalbuis voeren.

op de normale wijze door V_5 verder versterkt, daarna in de diode V_6 gedetecteerd; het hier ver-

van V_{19} , die als anodedetector werkt; door deze detectie verkrijgt men dus de beeldsignalen, die ook wel met de naam videofrequentiesignalen worden aangeduid; deze worden door V_{20} versterkt en tenslotte toegevoerd aan het stuurrooster van de kathodestraalbuis.

Daar dit gedeelte der schakeling bijzondere aandacht verdient, is het in fig. 4 meer in detail weergegeven. De uit de anodedetector V_{19} verkregen videofrequentiesignalen worden over een condensator C toegevoerd aan het rooster van V_{20} ; dit rooster is over een groote weerstand R met de kathode verbonden; zolang er nog geen signaal is, heeft het rooster dus de spanning nul ten opzichte van de kathode. Komt nu het videofrequentie-signaal op het rooster te staan, dan zal een roosterstroom gaan vloeien, die in de weerstand R een spanningsverval teweegbrengt, waardoor de gemiddelde rooster-spanning naar negatieve waarden schuift. Het

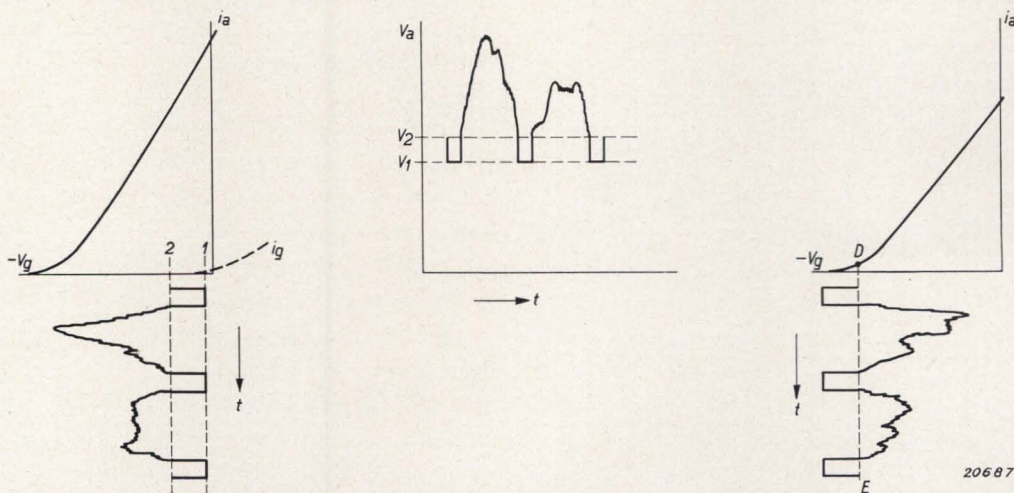


Fig. 5. a) Karakteristiek en toegevoerde rooster-spanning van de lamp V_{20} .

b) Anodespanning van de lamp V_{20} .

c) Spanning op het stuurrooster van de kathodestraalbuis.

kregen laagfrequentiesignaal wordt gezet op de pick-up aansluitklemmen van een normale omroepontvanger, die voorzien is van een luidspreker en van een regelaar voor het geluidsvolume.

Anderzijds worden de beide middelfrequente draaggolven ook gevoerd naar het rooster van de versterkerlamp V_7 . De kring achter deze lamp, benevens de beide daarop volgende versterkertrappen met de lampen V_8 en V_9 , geven samen een frequentiekarakteristiek, zooals in kromme 3 van fig. 3 is voorgesteld; achter lamp V_9 is alleen nog de middelfrequente draaggolf aanwezig waarop het beeld met inbegrip van de synchronisatiesignalen is gemoduleerd. Voorbij V_9 treedt nu weer een splitsing op. Naar links gaande komt de gemoduleerde middelfrequente draaggolf op het rooster

resultaat is in fig. 5a aangegeven; de rooster-spanning stelt zich zoo in, dat de rechts gelegen toppen, die in dit geval corresponderen met de onderkant der synchronisatiesignalen, nog juist in het gebied komen, waar roosterstroom vloeit. Het beeldsignaal heeft voor elke afgetaste lijn een ander verloop en zal in het algemeen sterk wisselende modulatie diepten vertoonen, zooals in fig. 5a voor twee lijnen is geteekend; maar de synchronisatiesignalen hebben altijd dezelfde modulatie diepte, zoodat de met 1 en 2 aangegeven stippellijnen steeds op dezelfde plaats komen te liggen. Als gevolg hiervan zijn ook voor de spanning aan de anode van V_{20} de met 1 en 2 overeenkomende waarden V_1 en V_2 (fig. 5b) steeds dezelfde, onafhankelijk van de modulatie der beeldsignalen.

Het stuurrooster van de kathodestraalbuis is rechtstreeks met de anode van V_{20} verbonden. Door het aanbrengen van een geschikt gekozen negatieve spanning (in te stellen met de potentiometer P) tusschen dit stuurrooster en de kathode, kan men bereiken, dat het videofrequentiesignaal op het stuurrooster van de kathodestraalbuis komt te staan op de wijze, die in fig. 5c aangegeven is; men ziet, dat de lijn $D - E$, die overeenkomt met „zwart” in het beeld, zóó gelegen is, dat er juist geen stroom door de kathodestraalbuis vloeit, terwijl de rechts van $D - E$ gelegen modulatie wel stroom in de buis doet vloeien. Deze stroom neemt toe en af in overeenstemming met de modulatie en dus met de helderheid van het uitgezonden beeld.

Enkele bijzonderheden, op het ontvangerschema betrekking hebbende, willen we nog vermelden. Het juiste afstemmen gebeurt door de oscillatorkring, die naast V_3 in het schema is aangegeven, zoo in te stellen, dat het geluidsprogramma door de luidspreker ten gehore komt, met andere woorden men stemt af op het geluid en niet op het beeld, omdat de kringen van het geluidsgedeelte veel smallere resonantiekrommen hebben dan die van het beeldgedeelte. Al te smal zijn de resonantiekrommen der eerstgenoemde kringen weer niet genomen om geen last te krijgen van verschuivingen der oscillatorfrequentie, die bij de ultrakorte golven licht optreden.

Uit fig. 3, krommen 1 en 3, ziet men, dat slechts één der beide zijbanden van de draaggolf, waarop de beeldsignalen zijn gemoduleerd, wordt versterkt. Het weglaten van de andere zijband blijkt de kwaliteit van het beeld niet ongunstig te beïnvloeden, zooals boven reeds werd opgemerkt.

De synchronisatiesignalen

Terugkeerend naar het schema van fig. 2, hebben we gezien, dat in de kring achter V_9 een middelfrequente draaggolf aanwezig is, waarop beelden synchronisatiesignalen zijn gemoduleerd. Deze wordt versterkt door lamp V_{10} , terwijl de daaropvolgende kring een doorlaatkarakteristiek heeft, zooals in fig. 3, kromme 4 is aangegeven, waarbij de hoogste beeldfrequenties uit de modulatie verdwijnen. V_{11} is een triode met ingebouwde diode (fig. 6). De draaggolf wordt gedetecteerd in de diode, zoodat op de weerstand R_1 het videofrequentiesignaal komt te staan; zooals uit de fig. blijkt, staat dit signaal daarmee tevens direct op het rooster van de triode. De karakteristiek van de triode is zoodanig (fig. 7a), dat de amplitudes der beeldsignalen alle vallen in het gebied van rooster spanningen, waarbij geen anodestroom vloeit,

terwijl dit voor de synchronisatiesignalen wel het geval is. De anodestroom van de triode vertoont dus het beeld, dat in fig. 7b is weergegeven; men

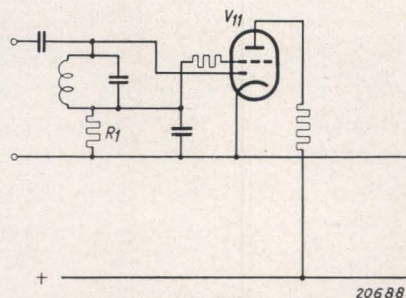


Fig. 6. Schakeling van de diode-triode-lamp V_{11} . (Het korte streepje is de diode-plaat). In deze trap worden de synchronisatiesignalen van de beeldsignalen gescheiden.

ziet, dat de synchronisatiesignalen practisch geheel van de eigenlijke beeldsignalen zijn afgezonderd.

Verder voortgaande in het schema van fig. 2 treft men de trap V_{12} aan, die dient om deze signalen nog beter van de beeldsignalen te scheiden. Na V_{12} komen dan filters, waarin de lijn- en de beeldsynchronisatiesignalen dank zij hun verschil in frequentie van elkander kunnen worden ge-

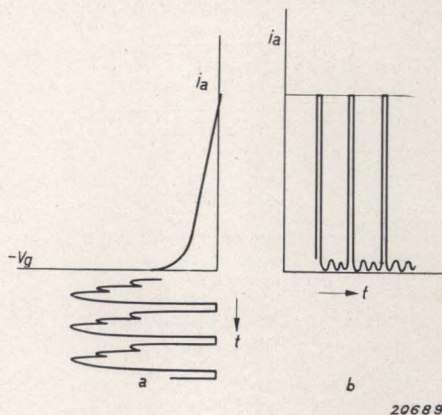


Fig. 7. a) Karakteristiek en toegevoerde roosterspanning van de diode-triode-lamp V_{11} .
b) Anodestroom van het triodegedeelte van V_{11} .

scheiden; tenslotte worden zij dan elk toegevoerd aan een der zaagtand-generatoren, die voor de afbuiging van de kathodestraal moeten zorgen.

De zaagtandgeneratoren

In het schema zijn deze aangeduid door de beide drietallen van ongenummerde cirkeltjes rechts van de kathodestraalbuis. In elk van beide generatoren treft men een condensator aan, die over een weerstand geladen wordt en periodiek ontladen wordt door een radiolamp (bovenste cirkeltje). De zaagtandvormige spanning van de condensator wordt versterkt door de twee volgende

versterkerlampen, die de aftastspanning aan de afbuigplaten van de kathodestraalbuis toevoeren. De schakeling der beide versterkerlampen is zoodanig, dat de zaagtandgeneratoren zichzelf aan de gang houden, ook zonder aanwezigheid van synchronisatiesignalen, terwijl tevens middelen zijn aangebracht om de zaagtandspanning een goed lineair verloop te geven. Elke zaagtandgenerator is in werkelijkheid nog weer dubbel uitgevoerd, teneinde, zooals in de inleiding uiteengezet is, te kunnen werken met zeer verschillende systemen van aftasting.

Plaatsing der onderdeelen.

De kathodestraalbuis (*f* in *fig. 8*) is in horizontale

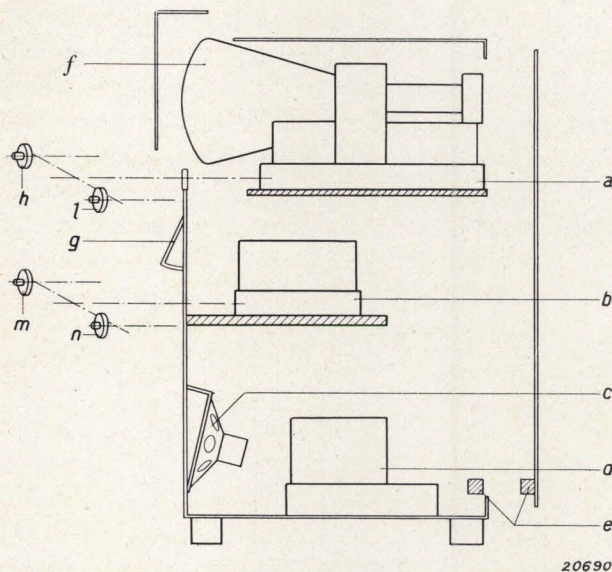


Fig. 8. Schematische doorsnede van het ontvangtoestel. *a* beeldontvanger, *b* omroepontvanger, *c* luidspreker, *d* plaatstroomapparaat, *e* veiligheidscontact, *f* kathodestraalbuis, *g* afstemschaal van de omroepontvanger.

Regelknoppen voor televisie: *h* instelling van het beeld, *l* keuze van het systeem van overdracht en afstemming van de oscillator.

Regelknoppen voor het omroepgedeelte: *m* geluidsstrekte en bandbreedte, *n* afstemming en golfbereik /in-uit/, keuze van omroep of televisie.

stand gemonteerd op een chassis *a*, waarop ook de verschillende versterkertrappen en de zaagtandgeneratoren zijn aangebracht. De buis wordt door de voorzijde van de kast in het apparaat gebracht, waartoe dan eerst een los paneel wordt verwijderd. Achter dit paneel bevinden zich ook die regelorganen, welke gewoonlijk slechts eenmaal behoeven te worden ingesteld en in het normale gebruik niet verder bediend worden.

Voor de instelling van de televisieontvanger dienen vier instelknoppen (in werkelijkheid vereenigd in de twee dubbele knoppen *h* en *l*), waarmee de volgende regelingen kunnen worden uitgevoerd: 1) regeling van de versterking van de beeldversterker, waarmee dus de amplitude van de videofrequentiesignalen op het stuurrooster van de kathodestraalbuis (zie *fig. 5c*) grooter of kleiner kan worden gemaakt, en daarmee de helderheid van het beeld; 2) regeling van potentiometer *P* uit *fig. 4*, waarmee de lijn *D - E* (*fig. 5c*), die met „zwart” overeenkomt, op de juiste plaats gebracht kan worden, nl. juist bij het begin van de stroomdoorgang in de kathodestraalbuis; 3) afstemming van de oscillatorkring; 4) omschakeling van het eene aftaststelsel op het andere.

Verder naar beneden in de kast bevindt zich het chassis *b* van een radiotoestel met de instelknoppen *m* en *n*, dat als een gewone omroepontvanger kan worden gebruikt. Op een vierde positie van de schakelaar voor het golfbereik is het televisieontvangtoestel ingeschakeld. Het daarbij behorende geluidsprogramma wordt dan via de pick-up-aansluiting van het radiotoestel ontvangen.

Onderin bevinden zich nog de luidspreker en de verschillende plaatsspanningsapparaten. Alle hoge spanningen zijn in het apparaat met metaal afgeschermd; verder is de veiligheid gewaarborgd, doordat automatisch de netspanning wordt afgeschakeld en de hoogspanningscondensatoren worden ontladen, wanneer het inwendige van het apparaat bij opening van de kast toegankelijk wordt gemaakt.

HET KARAKTERISEEREN VAN KLEURINDRUKKEN DOOR KLEURENRUIMTE EN KLEURENDRIEHOEK

door P. J. BOUMA.

Samenvatting. Op grond van de experimentele resultaten over kleurenmenging wordt aangetoond hoe men alle kleurindrukken in een kleurenruimte kan weergeven en hoe men op deze ruimte verschillende transformaties kan toepassen. In vele gevallen kan men een dergelijke ruimte door een bijpassende kleurendriehoek vervangen. Verschillende eigenschappen van deze driehoeken, in het bijzonder van de „ICI-1931” driehoek (fig. 4) worden besproken en enkele formules voor de berekening van mengkleuren gegeven.

Inleiding

Waar in verband met de moderne gekleurde lichtbronnen het probleem van het karakteriseeren van kleurindrukken een nieuwe praktische beteekenis heeft gekregen, leek het ons van belang om in aansluiting aan een vroegere — zuiver kwalitatieve — beschouwing over het kleuren zien ¹⁾, thans een exacte en kwantitatieve uiteenzetting te geven van de methode volgens welke het vastleggen dezer kleurindrukken geschiedt, en van de experimentele grondslagen waarop deze methode berust.

Een kleurindruk ontstaat, doordat ons netvlies getroffen wordt door een bepaalde lichtsoort. Kleurindrukken die op andere wijze ontstaan (bijv. door mechanische oorzaken) laten we buiten beschouwing. De aard van de kleurindruk wordt bepaald door:

- 1) de fysische samenstelling (spectrale verdeeling) van het licht,
- 2) de eigenschappen van ons oog.

Het ontstaan van een kleurenruimte

We nemen aan, met een „normaal” en goed uitgerust oog te doen te hebben, dat niet gelijktijdig sterk verschillende kleurindrukken opvangt. Hierdoor schakelen we de invloeden van vermoeidheid, nabebelden, simultaan- en successiecontrast enz. uit. Bovendien nemen we aan, dat de helderheidsniveaus niet zoo laag zijn, dat het Purkinje effect ²⁾ optreedt, noch zoo hoog, dat er van verblinding sprake is.

Onder deze omstandigheden geldt de bekende mengwet:

Wanneer men drie willekeurige relatieve spectrale verdeelingen (drie lichtsoorten) kiest, dan kan men elke kleurindruk volkomen nabootsen door geschikte menging van deze drie „grondkleuren”. Het gewenschte resultaat kan steeds door slechts één bepaalde verhouding van de hoeveelheid dier grondkleuren bereikt worden.

Om de algemeene geldigheid van deze wet te waarborgen, moeten we ons nog een tweetal nieuwe beperkingen opleggen:

- 1) De drie grondkleuren moeten zoo gekozen worden, dat het niet mogelijk is, één der grondkleuren na te bootsen door geschikte menging van de beide anderen.
- 2) Bij elke keuze van grondkleuren zijn er steeds kleuren K , die niet op deze wijze nagebootst kunnen worden; in dat geval is het echter steeds — en juist op één manier — mogelijk, een zeker mengsel van K met één of twee der grondkleuren te kiezen en dit door een bepaald mengsel van de resteerende grondkleuren (resp. door een zekere hoeveelheid van de derde grondkleur) na te bootsen. Drukt men nu het feit, dat men aan K een zekere hoeveelheid B_i van een bepaalde grondkleur toevoegt, uit door te zeggen: „we voegen een hoeveelheid $-B_i$ van deze grondkleur aan het nabootsende mengsel van grondkleuren toe”, dan geldt de mengwet toch algemeen, met dien verstande, dat er nu ook negatieve hoeveelheden van de grondkleuren kunnen optreden.

Daar men nu — bij een bepaalde keuze van grondkleuren — een zekere kleurindruk (helderheid B) op één en slechts één manier kan nabootsen door menging van de drie grondkleuren met de helderheden B_1, B_2 en B_3 , kan men die kleurindruk door de getallen B_1, B_2, B_3 volkomen eenduidig karakteriseeren. We herinneren er aan, dat door deze drie getallen wel de kleurindruk, maar niet de spectrale samenstelling van het licht eenduidig wordt vastgelegd.

De verzameling van kleurindrukken is derhalve een driedimensionale, met andere woorden wanneer we ons een driedimensionale ruimte denken, met coördinaten ³⁾ x_1, x_2, x_3 , dan kunnen we aan elke

¹⁾ Zie Philips techn. T. 1, 282, 1936.

²⁾ Zie Philips techn. T. 1, 102, 142, 166, 1936.

³⁾ Het is onverschillig of het assenstelsel rechthoekig of scheef wordt gekozen; in de fig. 1 en 2 is het laatste geschied.

kleurindruk een punt van die ruimte toevoegen, door te kiezen: $x_1 = B_1$, $x_2 = B_2$, $x_3 = B_3$. Bij elke kleurindruk behoort dan juist één punt, bij elk punt hoogstens één kleurindruk.

Eigenschappen van de kleurenruimte

Om ons een beeld te vormen van de ligging der kleuren in deze ruimte, moeten we nog eenige wetten noemen, die onder de bovengenoemde beperkingen (normaal, uitgerust oog; helderheid boven de grenswaarde van ca 3 kaars/m²; enz.) algemeen gelden:

- 1) Twee „physiologisch gelijke” kleuren blijven bij evenredige energievariatie physiologisch gelijk, met andere woorden geven twee verschillende lichtbronnen dezelfde kleurindruk, dan blijven ze dit doen, wanneer we beider energie (en daarmee ook beider helderheid)

Uit de eerste wet volgt, dat we bij energievariatie van een lichtbron (met onveranderde relatieve spectrale samenstelling) ons in de (x_1, x_2, x_3) ruimte langs een rechte door de oorsprong bewegen.

Immers is

$$B(\text{kleur } k) \sim B_1(\text{kleur } 1) + B_2(\text{kleur } 2) + B_3(\text{kleur } 3)^5,$$

dan is volgens deze wet:

$$nB(\text{kleur } k) \sim nB_1(\text{kleur } 1) + nB_2(\text{kleur } 2) + nB_3(\text{kleur } 3).$$

Bij de helderheid B (kleur k) behooren dus de coördinaten $x_1 = B_1$, $x_2 = B_2$, $x_3 = B_3$ en bij de helderheid nB (kleur k) de coördinaten $x_1' = nB_1$, $x_2' = nB_2$, $x_3' = nB_3$. We bewegen ons dus langs een rechte door de oorsprong.

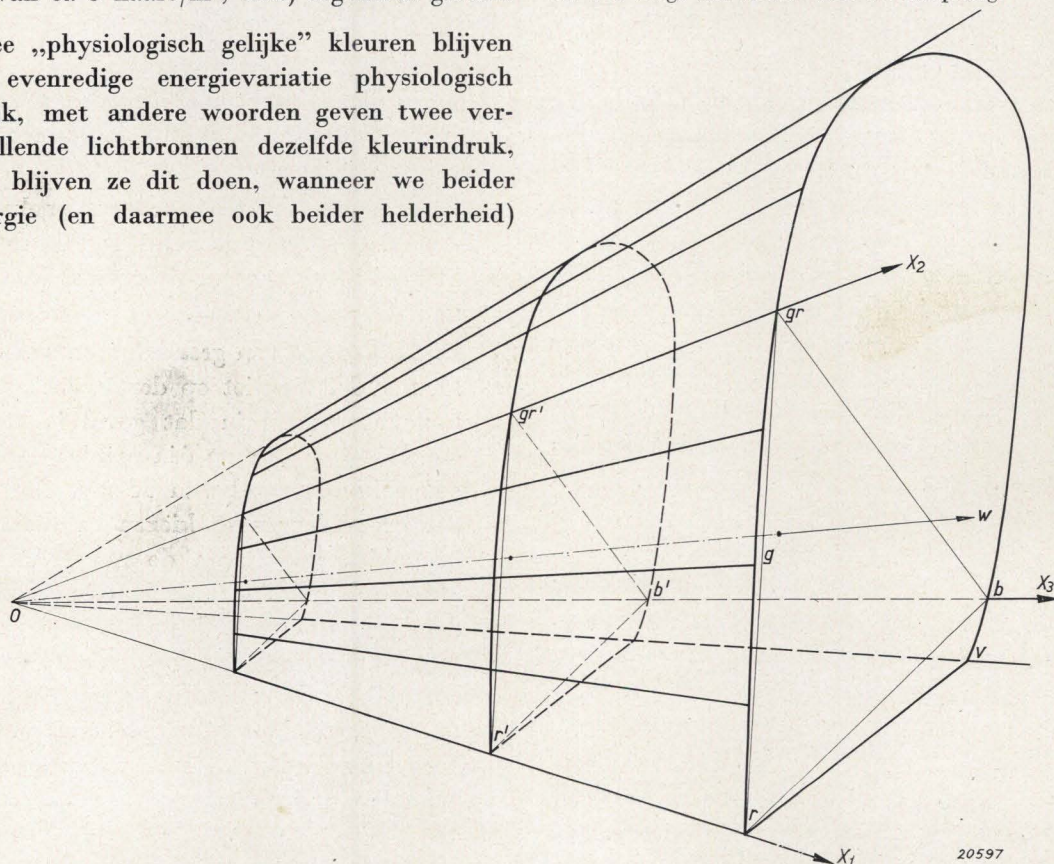


Fig. 1. Schematische voorstelling van een kleurenruimte met als grondkleuren een roode, groene en blauwe spectraalkleur. De spectraalkleuren liggen op de kegelmantel, de verzadigde purpers in het vlak $O-r-v$, alle andere kleuren binnen deze kegel. In de vlakken $x_1 + x_2 + x_3 = \text{constant}$ ontstaan kleuren-driehoeken. De lijn $O-w$ stelt wit voor; de afknotting links staat in verband met het Purkinje effect.

eenzelfde factor verhoogen of verlagen (daarbij de relatieve spectraalverdelingen onveranderd latende).

- 2) Physiologisch gelijke kleuren gedragen zich ook bij mengprocessen op identieke wijze: ze mogen dus in elk mengsel door elkaar vervangen worden ⁴⁾.
- 3) De helderheid van een mengsel is gelijk aan de som van de helderheden der componenten.

⁴⁾ We merken op dat deze regel bij menging van kleurstoffen niet geldt!

In het bijzonder wordt elke spectraalkleur door een rechte door de oorsprong weergegeven. Deze rechten vormen een kegelmantel, die in fig. 1 schematisch is weergegeven. Hier zijn als grondkleuren gekozen de spectraalkleuren 4358, 5461 en 7000 Å. Dit zijn de drie spectraalkleuren die bij de experimenten van Guild en Wright als grondkleuren gebruikt werden. De beide eersten zijn resp. de blauwe en groene kwiklijn. De letters r , g , gr , b , v geven ongeveer de ligging van het

⁵⁾ Het teken $\sim$ wordt gebruikt voor de uitdrukking „physiologisch gelijk”.

spectrale rood, geel, groen, blauw en violet aan. De letters r en v beantwoorden aan de uiteinden van het zichtbare spectrum. De kegel is links afgeknot in verband met de bovenvermelde beperking omtrent de helderheidsniveaus.

Uit de tweede wet volgt, dat in de kleurenruimte het mengen van kleuren geïllustreerd wordt door optellen van vectoren.

Is nl.:

B (kleur k) $\sim B_1$ (kleur 1) + B_2 (kleur 2) + B_3 (kleur 3)
en

B' (kleur k') $\sim B_1'$ (kleur 1) + B_2' (kleur 2) + B_3' (kleur 3),
dan is volgens deze wet

B (kleur k) + B' (kleur k') $\sim (B_1 + B_1')$ (kleur 1) +
+ $(B_2 + B_2')$ (kleur 2) + $(B_3 + B_3')$ (kleur 3).

Bij de kleurindrukken B (kleur k) en B' (kleur k') behoren dus resp. de coördinaten:

$x_1 = B_1, x_2 = B_2, x_3 = B_3$ en $x_1' = B_1', x_2' = B_2', x_3' = B_3'$
en bij het mengsel van deze twee kleuren:

$x_1'' = B_1 + B_1', x_2'' = B_2 + B_2', x_3'' = B_3 + B_3'$.

De vector (x_1'', x_2'', x_3'') ontstaat dus inderdaad door optelling van de vectoren (x_1, x_2, x_3) en (x_1', x_2', x_3') .

We zien nu ook, waarom we de grondkleuren niet zoo mochten kiezen, dat één ervan door een mengsel van beide anderen nagebootst kan worden: een dergelijk drietal grondkleuren zou in fig. 1 afgebeeld worden als drie in één vlak gelegen vectoren, en we zouden met deze grondkleuren alleen de in dat vlak gelegen kleurindrukken kunnen nabootsen. Uit de juist afgeleide mengregel volgt verder:

- 1) Het vlak $O-v-r$ bevat de mengsels van spectraal rood en spectraal violet (verzadigde purpurskleuren),
- 2) Alle mengsels van spectraalkleuren (dus alle kleurindrukken) liggen binnen de kegelmantel, gevormd door de spectraalkleuren en het vlak $O-v-r$. Anders uitgedrukt: elk punt binnen deze kegelmantel stelt een bepaalde kleurindruk voor; een punt buiten de kegelmantel stelt geen kleurindruk voor en heeft dus alleen meetkundige beteekenis. De lijn $O-w$ stelt wit licht voor.

Uit de derde wet volgt de helderheidsformule

$$B = B_1 + B_2 + B_3 \text{ of } B = x_1 + x_2 + x_3. \quad (1)$$

In fig. 1 stellen $r-gr-b$ en $r'-gr'-b'$ vlakken voor die gelijke stukken van de drie assen afsnijden; hun vergelijking is dus $x_1 + x_2 + x_3 = \text{constant}$; het zijn dus tevens vlakken van constante helderheid.

Transformaties van de kleurenruimte

Nu we de kleuren op deze wijze gekarakteriseerd hebben, kunnen we op verschillende wijzen tot

andere drietallen van getallen overgaan, waarmee de kleur ook vastgelegd kan worden, met andere woorden we kunnen de gevonden kleurenruimte op verschillende wijzen transformeeren.

De belangrijkste dezer omvormingen is de homogene lineaire transformatie, die bestaat in de vervanging van de coördinaten (x_1, x_2, x_3) door coördinaten (x_1', x_2', x_3') , die er als volgt mee samenhangen:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= a_1 x_1' + a_2 x_2' + a_3 x_3' \\ x_2 &= b_1 x_1' + b_2 x_2' + b_3 x_3' \\ x_3 &= c_1 x_1' + c_2 x_2' + c_3 x_3' \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

Dit beteekent meetkundig: draaiing van de assen, gepaard met een verschillende inkrimping of uitzetting in de drie verschillende asrichtingen. Fysisch kan dit beteekenen: andere keuze van grondkleuren, gepaard met een verschillende keuze van helderheidseenheden voor de drie verschillende grondkleuren. Dit mag men echter alleen dan zeggen, wanneer de nieuwe assen binnen de kegel van fig. 1 vallen. Vallen ze er buiten (en transformaties van deze aard worden in de praktijk vaak toegepast!), dan kunnen we van de transformatie (2) geen eenvoudige fysische interpretatie meer geven. Men doet dus goed, deze transformatie steeds als een zuiver mathematische kunstgreep te beschouwen⁶⁾. Het doel van dergelijke transformaties is van praktische aard; door in verg. (2) de coëfficiënten geschikt te kiezen, kan men verschillende doeleinden bereiken, bijv.

- 1) de „witlijn” $O-w$ in een bepaalde positie ten opzichte van de assen brengen, in het bijzonder aan deze de vergelijking $x_1' = x_2' = x_3'$ geven,
- 2) de helderheidsformule, die na de transformatie luidt:

$$B = (a_1 + b_1 + c_1) x_1' + (a_2 + b_2 + c_2) x_2' + (a_3 + b_3 + c_3) x_3';$$

een bepaalde gedaante geven, bijv.

$$B = x_2';$$

- 3) alle kleurindrukken uitsluitend positieve coördinaten geven; dit is nooit te bereiken wanneer we de drie assen alle binnen of op de kegelmantel van fig. 1 doen vallen; de assen mogen hier dus niet meer als grondkleuren worden opgevat.

Fig. 2 geeft een voorbeeld van een kleurenruimte die door een dergelijke transformatie is ontstaan,

⁶⁾ We geven aan deze opvatting de voorkeur boven de invoering van het eenigszins geheimzinnige begrip van „niet reële grondkleuren”. Een lijn buiten de kegel stelt niet een onreële kleur voor, maar heelemaal geen kleur.

en die de drie opgesomde eigenschappen bezit. De ingeteevende vlakken $x_1' + x_2' + x_3' = \text{constant}$ zijn nu geen vlakken van constante helderheid meer: deze laatste loopen allen evenwijdig met het vlak $O-x_1'-x_3'$ ⁷⁾.

Het ontstaan van kleurendriehoeken

Daar alle kleuren die op één rechte door de oorsprong liggen voor ons oog ten naaste bij hetzelfde karakter hebben en alleen in helderheid verschillen, zal het vaak gewenscht zijn om een dergelijke rechte door één punt te vervangen. Dit kan geschieden door de transformatie:

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= \frac{x_1}{x_1 + x_2 + x_3} \\ t_2 &= \frac{x_2}{x_1 + x_2 + x_3} \\ t_3 &= \frac{x_3}{x_1 + x_2 + x_3} \end{aligned} \right\} \dots \dots (3)$$

⁷⁾ De afknotting van de kegel, in verband met de beperking omtrent de helderheidsniveaus, is in deze figuur niet ingeteevend. Deze moet ook evenwijdig aan het vlak $O-x_1'-x_3'$ plaats vinden.

Alle punten van een rechte door O krijgen dezelfde coördinaten (t_1, t_2, t_3) . Steeds geldt: $t_1 + t_2 + t_3 = 1$. We kunnen dus zeggen: wanneer we ons alleen voor het karakter van de kleurindruk, en niet voor zijn helderheid interesseeren, dan hebben we voldoende aan de verhouding van x_1, x_2 en x_3 , met andere woorden aan de coördinaten (t_1, t_2, t_3) . De door (3) bepaalde coördinaten kunnen we nu op verschillende wijze in een plat vlak in tekening brengen, nl.:

- 1) In een gelijkzijdige driehoek. Teekent men een gelijkzijdige driehoek met hoogte 1, dan geeft de bekende eigenschap, dat de som van de afstanden van een willekeurig punt tot de drie zijden dan ook steeds gelijk aan 1 is, ons de mogelijkheid om de kleur (t_1, t_2, t_3) voor te stellen door een punt, dat tot de drie zijden de afstanden t_1, t_2 en t_3 heeft. Meetkundig kunnen we ons zoo'n gelijkzijdige driehoek ontstaan denken, door in de bijbehorende kleurenruimte de drievlakshoek $O-x_1-x_2-x_3$ gelijkzijdig te kiezen, en de ruimte vanuit O centraal te projecteeren op een vlak $x_1 + x_2 + x_3 = \text{constant}$

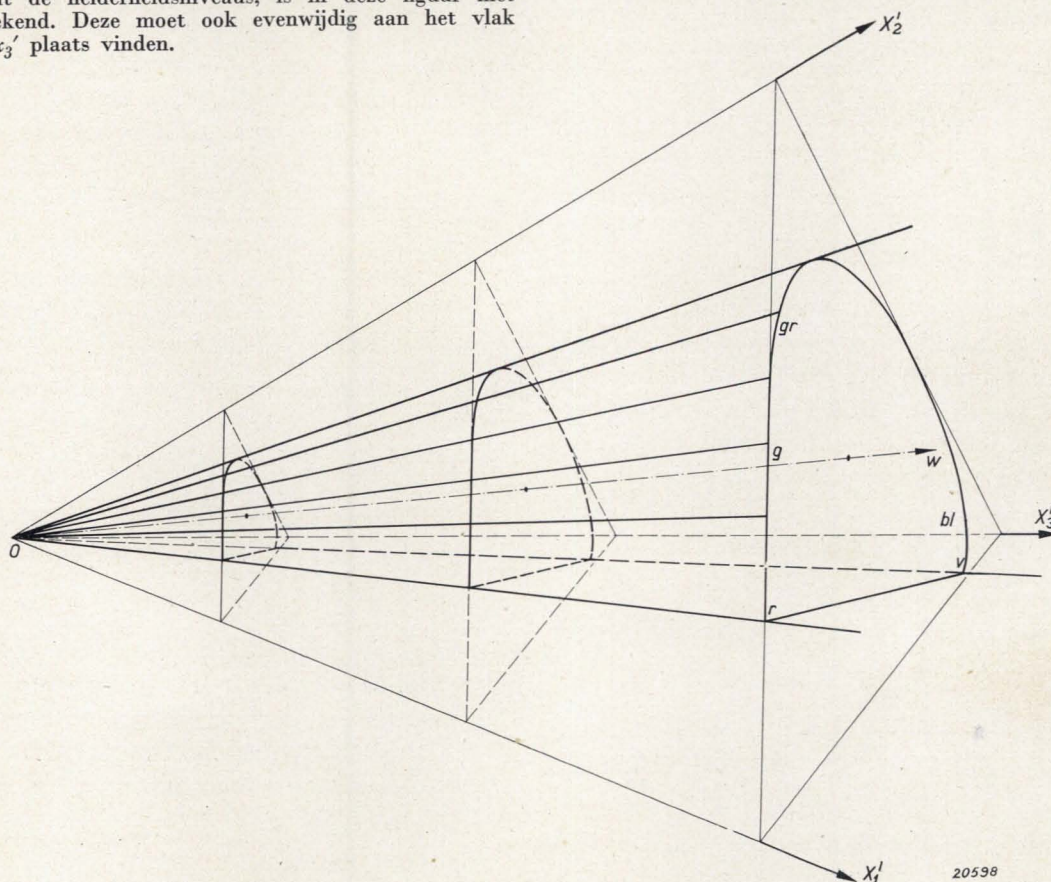


Fig. 2. Schematische voorstelling van een kleurenruimte uit fig. 1 door een lineaire transformatie ontstaan. De coördinaten-assen liggen buiten de kleurenkegel. $O-w$ (het wit) ligt in het midden van de drievlakshoek. In tegenstelling met fig. 1 hebben alle kleuren drie positieve coördinaten.

(dit is in het algemeen geen vlak van constante helderheid!). Voorbeelden van deze meetkundige ontstaanswijzen vindt men in fig. 1 en 2.

- 2) In een gelijkbeenige rechthoekige driehoek (voordeel: gemakkelijker te tekenen). Daar $t_1 + t_2 + t_3 = 1$ is, is het voldoende twee der coördinaten, bijv. t_2 en t_3 te geven. We kunnen de punten dus ook in een rechthoekig coördinatensysteem intekenen, met t_2 en t_3 als abcis en ordinaat. Men toont gemakkelijk aan, dat dan $t_1 = \sqrt{2} \times$ de afstand van het punt tot de lijn $t_2 + t_3 = 1$ (de schuine zijde van de driehoek).

De volgende figuren geven enkele voorbeelden van kleurendriehoeken met ingeteekeerde spectrale kleuren en witpunt W (volgens de tweede methode geteekend), die uit verschillende kleurenruimten zijn ontstaan, en wel:

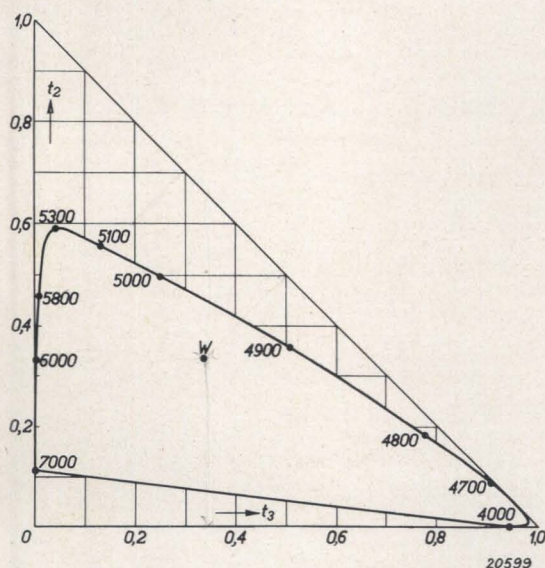


Fig. 3a. Een kleurendriehoek, die ontstaan is uit de oude metingen van König. Voor het wit geldt hier $t_1 = t_2 = t_3$. De helderheidsformule voor de bijbehorende ruimte luidt:

$$B = 0,568 x_1 + 0,426 x_2 + 0,006 x_3.$$

De assen vallen buiten de spectraalkegel; ze zijn gekozen in die richtingen, waarin we ons in de ruimte kunnen bewegen, zonder dat bepaalde typen van kleurenblinden (dichromaten) veranderingen waarnemen. Stelt men zich op het standpunt, dat het driedimensionaal zijn van de kleurenverzameling is toe te schrijven aan het bestaan van drie lichtgevoelige systemen in het oog (rood-, groen- en blauwsystemen), dat bij de dichromaten een dezer systemen niet functioneert en dat het wit ontstaat door even sterke prikkeling van deze drie systemen, dan geven de punten in de driehoek 3a ongeveer de verhoudingen aan, waarin de drie genoemde systemen door bepaalde lichtsoorten geprikkeld worden.

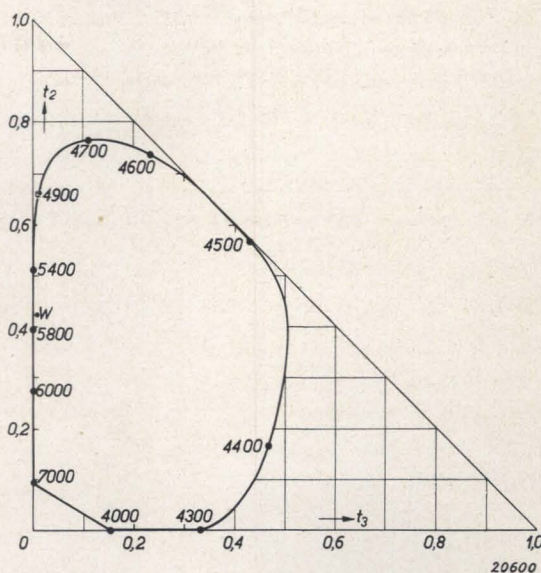


Fig. 3b. Een uit dezelfde metingen ontstane kleurendriehoek, voor welks ruimte de helderheidsformule

$$B = x_1' + x_2' + x_3'$$

geldt. Door de transformatie $x_1' = 0,568 x_1$; $x_2' = 0,426 x_2$; $x_3' = 0,006 x_3$ gaat deze ruimte in de vorige over. Naast het voordeel van de eenvoudiger helderheidsformule, en de daaruit voortvloeiende eenvoudiger mengregels (zie later) staat het groote nadeel, dat het witpunt W nu zeer dicht bij de spectraalkromme ligt en daardoor een belangrijk deel van de kleuren tot een smal driehoekje is samengedrukt. Dit is de reden waarom in de praktijk nooit ruimten met $B = x_1' + x_2' + x_3'$ worden gebruikt.

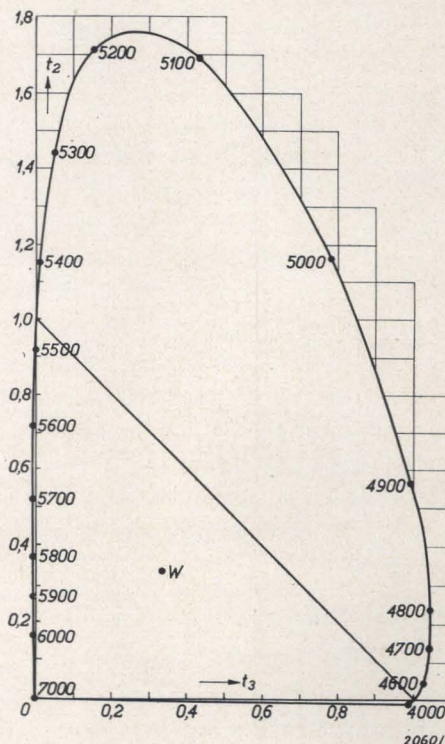


Fig. 3c. Een kleurendriehoek, die de moderne metingen van Guild en Wright weergeeft. Als grondkleuren zijn gekozen de spectraalkleuren 4358 Å, 5461 Å, 7000 Å;

de helderheidsformule voor de ruimte luidt: $B = x_1 + 4,39 x_2 + 0,048 x_3$. Het wit (het door het National Physical Laboratory vastgelegde „NPL wit”, dat het zonlicht zeer nabij komt) is in het zwaartepunt van de driehoek gebracht. Zooals steeds het geval is, wanneer de assen van de ruimte werkelijk kleuren vertegenwoordigen, zijn er kleuren met negatieve coördinaten: voor $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ is bijv. t_1 negatief).

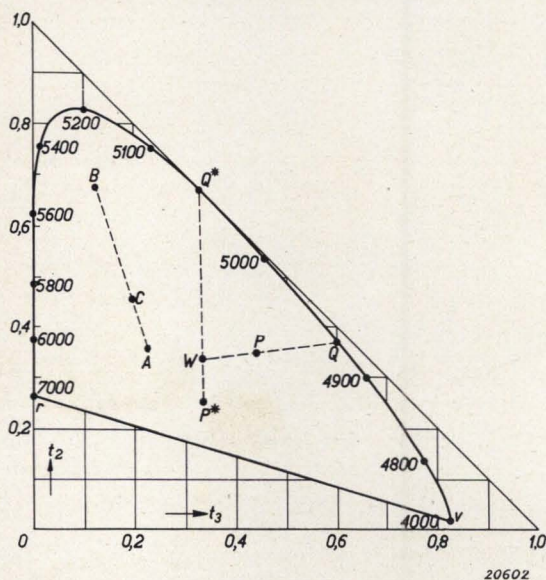


Fig. 3d. Een andere kleurendriehoek, evenals de vorige gebaseerd op metingen van Guild en Wright. Dit stelsel is in 1931 door de International Commission on Illumination (I.C.I.) aanbevolen en wordt thans internationaal algemeen gebruikt. Het wit (hier het „equal energy spectrum”, d.w.z. het spectrum, dat in elk golflengtegebiedje $\lambda \rightarrow \lambda + d\lambda$ dezelfde energie $E d\lambda$ bevat), is in het zwaartepunt gebracht; twee der zijden raken de spectraalkromme⁸⁾; de helderheidsformule in de bijbehorende ruimte luidt: $B = x_2$. Fysisch doet deze formule zeer vreemd aan, daar de coördinaten x_1 en x_3 er in ontbreken; we moeten echter steeds bedenken, dat dit systeem door een zuiver formeel-mathematische transformatie ontstaan is uit een stelsel, waarin de fysische betekenis van alle grootheden en formules direct te zien was. De bijbehorende ruimte is in fig. 2 getoetst.

Eigenschappen, begrippen en formules van de kleurendriehoeken

De mengregels. Uit de mengregel voor de ruimte (vectoradditie) volgt direct (in verband met de

meetkundige ontstaanswijze van de kleurendriehoek) dat in de driehoek alle mengsels van twee kleuren op hun verbindingslijn liggen⁹⁾. De plaats van het mengsel op de verbindingslijn hangt af van de helderheidsverhouding der componenten. Stellen $A (t_1, t_2, t_3)$ en $B (t_1', t_2', t_3')$ in de driehoek kleuren voor, die met de helderheden B en B' gemengd worden (fig. 3d) en luidt de helderheidsformule voor de bijbehorende ruimte: $B = a x_1 + b x_2 + c x_3$, dan toont men mathematisch aan, dat de ligging van het punt C , dat het mengsel voorstelt, gegeven wordt door:

$$\frac{AC}{CB} = \frac{B' a t_1 + b t_2 + c t_3}{B a t_1' + b t_2' + c t_3'}$$

Voor kleurendriehoeken, ontstaan uit ruimten met $B = x_1 + x_2 + x_3$ wordt dit:

$$\frac{AC}{CB} = \frac{B'}{B};$$

het mengsel van twee kleuren met gelijke helderheden ligt dan steeds op het midden van hun verbindingslijn. Voor de kleurendriehoek van fig. 3d geldt:

$$\frac{AC}{CB} = \frac{B'}{B} \frac{t_2}{t_2'} \dots \dots \dots (4)$$

De begrippen domineerende golflengte en verzadigingsgraad.

Uit fig. 3d zien we, dat een kleur $P (t_1'', t_2'', t_3'')$ (helderheid B'') gemengd kan worden uit een helderheid B van wit licht en een helderheid B' van een bepaalde spectraalkleur $Q (t_1', t_2', t_3')$. De golflengte van Q noemt men de domineerende golflengte, de verhouding $\sigma = B'/B''$ de verzadigingsgraad van de kleur P . Alle spectrale kleuren hebben dus de verzadigingsgraad 1.

De kleuren P^* , die in de driehoek $r-W-v$ liggen (fig. 3d) kunnen niet uit wit licht en een spectraalkleur gemengd worden; wel kan de kleur $P^* (t_1'', t_2'', t_3'')$ (helderheid B'') met een helderheid B' van de spectraalkleur $Q^* (t_1', t_2', t_3')$ tot een helderheid B van wit licht (t_1, t_2, t_3) gemengd worden. In dit geval noemt men de golflengte van Q^* de domineerende golflengte, de verhouding $\sigma = -B'/B''$ de verzadigingsgraad van de kleur P^* : punten in de driehoek $r-W-v$ (purperkleuren) hebben dus allen een negatieve verzadigingsgraad.

⁸⁾ Door zeer zorgvuldig te interpoleren vindt men, dat dit voor de schuine zijde van fig. 3d niet volkomen juist is; het verschil is echter uiterst klein.

⁹⁾ Deze regel is in het vorige artikel in de vorm van een afspraak ingevoerd. Hier zien we nu dat deze afspraak geoorloofd was.

Voor alle punten van de kleurendriehoek geldt de formule:

$$\sigma = \frac{WP}{WQ} \cdot \frac{a t_1' + b t_2' + c t_3'}{a t_1'' + b t_2'' + c t_3''} = \frac{t_i - t_i''}{t_i - t_i'} \cdot \frac{a t_1' + b t_2' + c t_3'}{a t_1'' + b t_2'' + c t_3''},$$

waarin voor i naar willekeur 1, 2 of 3 ingevuld mag worden, terwijl WP/WQ negatief genomen moet worden, wanneer W tusschen P en Q ligt, positief, als P tusschen W en Q ligt.

Voor kleurendriehoeken, in wier ruimte geldt $B = x_1 + x_2 + x_3$, wordt de formule:

$$\sigma = \frac{WP}{WQ} = \frac{t_i - t_i''}{t_i - t_i'}.$$

Voor de driehoek van fig. 3d geldt:

$$\sigma = \frac{WP}{WQ} \cdot \frac{t_2'}{t_2''} = \frac{t_i - t_i''}{t_i - t_i'} \cdot \frac{t_2'}{t_2''} \quad (5)$$

In fig. 4 is deze driehoek nogmaals weergegeven, met ingeteevende krommen van constante verzadigingsgraad. Daar in verg. (5) nog de factor t_2'/t_2'' optreedt, is de schaal van verzadigingsgraden langs een rechte door W in het algemeen niet gelijkmatig (bijzonder groote afwijkingen in het blauw!).

De bepaling van het punt in de kleurendriehoek, dat behoort bij een bepaalde spectraalverdeling $E(\lambda)$.

Men denke zich achtereenvolgens de verschillende spectraalkleuren gegeven, met dezelfde energie. Deze verschillende kleurindrukken geven in de ruimte punten, die zich vereenigen tot een op de spectrale kegelmantel gelegen kromme

$$x_1 = \bar{x}_1(\lambda), x_2 = \bar{x}_2(\lambda), x_3 = \bar{x}_3(\lambda).$$

Voor de ruimte, waaruit fig. 4 ontstaan is, vindt men de coördinaten van deze kromme in tabel I.

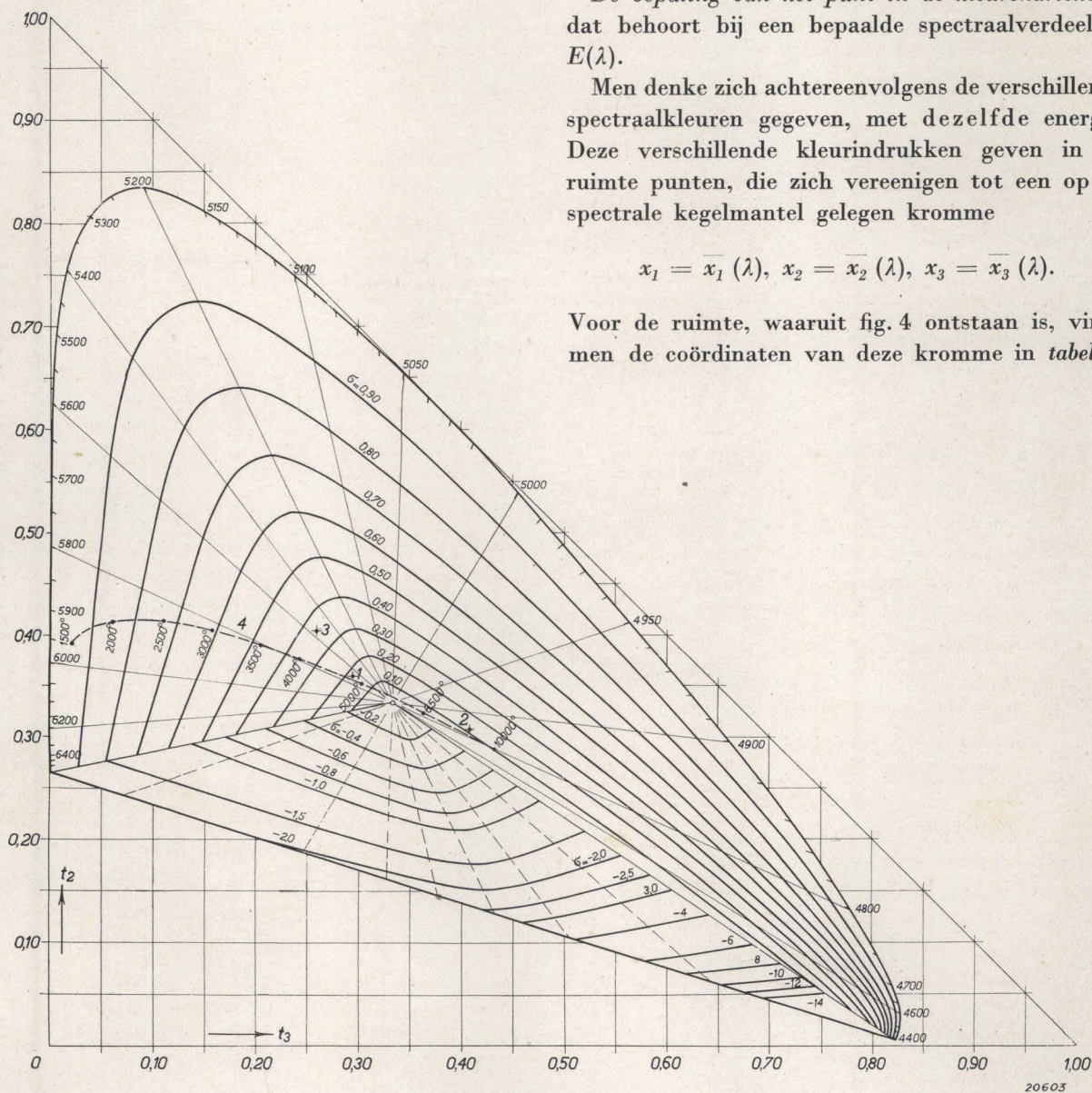


Fig. 4. De door de ICI aanbevolen kleurendriehoek (zie ook fig. 3d) met lijnen van constante verzadigingsgraad en enkele bijzondere punten: 1) Daglicht (zon + hemel); 2) Blauwe hemel; 3) Kwiklicht; 4) Zwarte lichamen.

Tabel I. Kleurcoördinaten volgens het I.C.I. systeem.

λ	$\bar{x}_1(\lambda)$	$\bar{x}_2(\lambda)$	$\bar{x}_3(\lambda)$	λ	$\bar{x}_1(\lambda)$	$\bar{x}_2(\lambda)$	$\bar{x}_3(\lambda)$
3800	0,0014	0,0000	0,0065	5800	0,9163	0,8700	0,0017
3900	0,0042	0,0001	0,0201	5900	1,0263	0,7570	0,0011
4000	0,0143	0,0004	0,0679	6000	1,0622	0,6310	0,0008
4100	0,0435	0,0012	0,2074	6100	1,0026	0,5030	0,0003
4200	0,1344	0,0040	0,6456	6200	0,8544	0,3810	0,0002
4300	0,2839	0,0116	1,3856	6300	0,6424	0,2650	0,0000
4400	0,3483	0,0230	1,7471	6400	0,4479	0,1750	0
4500	0,3362	0,0380	1,7721	6500	0,2835	0,1070	0
4600	0,2908	0,0600	1,6692	6600	0,1649	0,0610	0
4700	0,1954	0,0910	1,2876	6700	0,0874	0,0320	0
4800	0,0956	0,1390	0,8130	6800	0,0468	0,0170	0
4900	0,0320	0,2080	0,4652	6900	0,0227	0,0082	0
5000	0,0049	0,3230	0,2720	7000	0,0114	0,0041	0
5100	0,0093	0,5030	0,1582	7100	0,0058	0,0021	0
5200	0,0633	0,7100	0,0782	7200	0,0029	0,0010	0
5300	0,1655	0,8620	0,0422	7300	0,0014	0,0005	0
5400	0,2904	0,9540	0,0203	7400	0,0007	0,0003	0
5500	0,4334	0,9950	0,0087	7500	0,0003	0,0001	0
5600	0,5945	0,9950	0,0039	7600	0,0002	0,0001	0
5700	0,7621	0,9520	0,0021	7700	0,0001	0,0000	0

Om nu het gezochte punt in de driehoek te vinden, gebruikt men de formule:

$$t_1 : t_2 : t_3 = \int E(\lambda) \bar{x}_1(\lambda) d\lambda : \int E(\lambda) \bar{x}_2(\lambda) d\lambda : \int E(\lambda) \bar{x}_3(\lambda) d\lambda \tag{6}$$

of voor een lijnenspectrum:

$$t_1 : t_2 : t_3 = \sum E(\lambda) \bar{x}_1(\lambda) : \sum E(\lambda) \bar{x}_2(\lambda) : \sum E(\lambda) \bar{x}_3(\lambda) \tag{7}$$

In fig. 4 zijn enkele aldus berekende spectraal-verdeelingen ingetekend:

- 1) Daglicht (gemiddelde van metingen van Mej. Eymers), bestaande uit direct zonlicht plus het indirecte licht van de hemel. Domineerende golflengte 5600 - 5770 Å; verzadigingsgraad 0,14 - 0,22.
- 2) Het licht van de blauwe hemel (Eymers): domineerende golflengte 4835 - 4855 Å; verzadigingsgraad 0,09 - 0,13.
- 3) Kwiklicht (1 atmosfeer druk).

- 4) De gestippelde kromme stelt de kleur van de zwarte straling voor van verschillende temperaturen. In de buurt van $T = 2800^\circ\text{K}$ ligt de kleur van het gloeilampenlicht.

Fig. 4 kan dienen om uit de coördinaten (t_1, t_2, t_3) grafisch de domineerende golflengte (λ) en de verzadigingsgraad (verg. (5)) te vinden. Bijv.:

$t_1 = 0,1, t_2 = 0,5, t_3 = 0,4$ geeft $\lambda = 5021 \text{ Å}$,
 $\sigma = 0,81$ (vrij verzadigd blauwgroen);
 $t_1 = 0,4, t_2 = 0,2, t_3 = 0,4$ geeft $\lambda = 5215 \text{ Å}$,
 $\sigma = -1,12$ (een mengsel van purper en wit, met groene complementairekleur).

LITERATUUR

Handbook of colorimetry. Cambridge, Massachusetts, 1936.

Schrödinger, Müller Pouillet's Lehrb. d. Phys. II, Optik, erste Hälfte, S. 458 - 488.
(Beginselen van de kleurenruimte en kleuren-driehoek.)

Smith en Guild, Trans. Opt. Soc. 33, 74, 1931/32.	} (Beschrijving van het ICI systeem.)
Judd, Journ. Opt. Soc. Am. 23, 359, 1933.	
Richter, Das Licht 4, 205 en 231, 1934.	
Ribaud, Revue d'Optique 10) 15, 161, 1936.	

Schrödinger, Ann. Physik 63, 397, 481, 1920.
(Naast de opbouw van de kleurenruimte wordt hier de „physiologische afstand” tusschen twee punten van de ruimte beschouwd.)

Bouma en Heller, Proc. Kon. Ak. Wet. A'dam 38, 34, 148 en 258, 1935.
(Uitbreiding van de beschouwingen tot het gebied van de Purkinje verschuiving.)

¹⁰⁾ We maken er opmerkzaam op, dat de formules op pag. 168 en 169 van dit artikel onjuist zijn.

OCTAAF EN DECIBEL

door R. VERMEULEN.

Samenvatting. Aan de hand van practische gegevens wordt het verband tusschen de acoustische grootheden: toonshoogte en geluidssterkte en de daarmee overeenkomende physische grootheden: frequentie en intensiteit besproken. Het is de bedoeling duidelijk te maken, waarom voor de opgave van physische grootheden in de acoustiek de logarithmische eenheden, octaaf en decibel, de voorkeur verdienen.

Waarom bestaat er in de acoustiek en aanverwante gebieden een groote voorkeur voor het gebruik van logarithmische schalen, zelfs in die mate, dat daarvoor nieuwe eenheden ingevoerd worden? Het gebruik van een logarithmische schaal in de acoustiek wordt, afgezien van de voordeelen, welke zij in vele gevallen ook op ander gebied kan meebrengen, gerechtvaardigd door de eigenschappen van het menschelijk oor. Want een groot deel van de acoustische metingen (in het bijzonder de technische) zijn in wezen bedoeld als pogingen ter vervanging van een beoordeeling op het gehoor. Een sprekend voorbeeld hiervan wordt gevonden bij de bepaling van de eigenschappen van een luidspreker. Daarbij zal men naast een critisch beluisteren van de voortgebrachte muziek en spraak een meer gedetailleerde studie wenschen, o.a. van de geluidsindruk, welke de luidspreker op verschillende toonhoogten bij een zelfde toegevoerd electrisch vermogen geeft. Doch zoowel geluidsindruk als toonshoogte zijn geen physische grootheden, doch physiologische, ten deele zelfs psychologische waarden, welke voor directe meting ontoegankelijk zijn, daar zij zuiver subjectief zijn. Voor een numerieke studie zal men dus genoeg moeten nemen met een objectieve meting van physische grootheden, in dit geval kan bijv. gemeten worden het afgegeven acoustische vermogen als functie van de frequentie. Daarbij is het in hooge mate wenschelijk, bij de weergave van de resultaten een zoodanige schaal te kiezen, dat de waarden van de uitkomsten eenigszins parallel loopen met de bijbehorende physiologische indrukken. Hetzelfde geldt voor electrische grootheden, wanneer deze voor de overdracht van geluid gebruikt worden, zooals o.a. in de telefonie het geval is.

Toonshoogte en frequentie

Het is algemeen bekend, dat de toonshoogte van een geluid verband houdt met de frequentie van de grondtoon¹⁾. Dat dit verband echter geen lineaire functie is, zal uit de volgende beschouwingen

duidelijk worden. In de muziek, waar men de toonshoogte reeds in noten heeft opgeschreven zonder iets van de physica van het geluid te weten, bestaat het begrip „interval” als een bepaald verschil in toonshoogte. Het belangrijkste interval is de octaaf: twee tonen, welke een octaaf verschillen, bezitten zoo'n groote natuurlijke overeenkomst, dat de musici het niet noodig geoordeeld hebben, daarvoor verschillende namen in te voeren, doch hen ten hoogste door indices onderscheiden. Naast de octaaf bestaan intervallen als quint, terts, en enkele anderen, die ook heel natuurlijk en vanzelfsprekend zijn. Niet alleen omdat twee tonen, welke een dergelijk interval verschillen, aangenaam samenklinken, maar ook, en dat is in dit verband belangrijk, omdat dergelijke intervallen op alle toonhoogten als gelijkwaardige verschillen ondervonden worden.

De musici geven dan ook de toonshoogte op een notenbalk zoodanig aan, dat een interval, onafhankelijk van de toonshoogte, steeds door een vrijwel gelijke afstand wordt aangegeven²⁾. Ook het klavier van de piano is gebouwd op de grondslag, dat gelijke intervallen over het geheele toonshoogtegebied gelijke afstanden hebben.

Een interval is van physisch standpunt echter niet een bepaald verschil, doch een bepaalde verhouding van de frequenties, en wel komt de octaaf overeen met een verdubbeling van de frequentie, de quint met een verhouding 2:3 enz. (zie tabel I). De logarithme van de frequentie heeft echter met de toonshoogte de eigenschap gemeen, dat het verschil, dat aan een interval beantwoordt, onafhankelijk is van de absolute waarde van de frequenties:

$$\log \frac{f_1}{f_2} = \log f_1 - \log f_2.$$

¹⁾ Dat dit verband niet streng eenduidig is, doch, zij het in geringe mate, ook beïnvloed wordt door intensiteit en timbre, zal hier buiten beschouwing gelaten worden.

²⁾ Geheel gelijk zijn deze afstanden niet, omdat het interval tusschen twee opvolgende noten op de notenbalk meestal een geheele, doch ook wel een halve noot bedraagt.

Octaaf

In verband met de vooraanstaande plaats, welke de octaaf inneemt voor het gehoor, ligt het voor de hand, niet de Briggiaansche logarithme te nemen, doch het getal twee als grondgetal te kiezen. Zodoende vindt men voor de waarde I van een interval met de octaaf als eenheid:

$$I = {}^2\log \frac{f_1}{f_2} = 3,320 {}^{10}\log \frac{f_1}{f_2}.$$

De onderverdeling van de octaaf kan op verschillende wijzen geschieden. De meest gebruikelijke is ontstaan uit de behoefte aan een indeeling, welke het mogelijk maakt, op instrumenten met een vast toetsenbord (zooals bijv. orgel en piano) zooveel

Tabel I.

Interval	Toon	Frequentieverhouding		Millioctaven	
		Natuurlijke schaal	Gelijkzwev. temp.	Natuurl. schaal	Gelijkzwev. temp.
Priem	C	1	1,000	0	0
Komma		81/80	1,013	17,92	0
Halve toon	C #	25/24	1,042	58,89	83,33
Limma		16/15	1,067	93,11	83,33
Kleine seconde	D b	27/25	1,080	111,0	83,33
		10/9	1,111	152,0	166,6
Groote seconde	D	9/8	1,125	169,9	166,6
Overmatige seconde	D #	75/64	1,172	228,8	250,0
Kleine terts	E b	6/5	1,200	263,0	250,0
Groote terts	E	5/4	1,250	321,9	333,3
Verminderde kwart	F b	32/25	1,280	356,1	333,3
Overmatige terts	E #	125/96	1,302	380,7	416,5
Reine kwart	F	4/3	1,333	414,8	416,5
Overmatige kwart	F #	25/18	1,389	473,9	500,0
Verminderde quint	G b	36/25	1,440	526,1	500,0
Reine quint	G	3/2	1,500	585,0	583,3
Overmatige quint	G #	25/16	1,562	644,0	666,6
Kleine sexte	A b	8/5	1,600	678,1	666,6
Groote sexte	A	5/3	1,667	737,0	750,0
Overmatige sexte	A #	125/72	1,736	795,8	833,3
Kleine septime	B b	9/5	1,800	848,0	833,3
Groote septime	B	15/8	1,875	906,9	916,6
Verminderde octaaf	C b	48/25	1,920	941,1	916,6
Overmatige septime	B #	125/64	1,953	965,7	1000,0
Octaaf	C'	2	2,000	1000,0	1000,0

Voor verschillende intervallen, welke ook in fig. 1 zijn aangegeven, is in bovenstaande tabel naast de muzikale benaming (2) aangegeven: (3) de breuk, waardoor het interval bepaald wordt, en welke voor de minder eenvoudige intervallen steeds opgebouwd is uit enkele eenvoudige, bijv. $125/64 = (5/4)^3$, d.w.z. bestaat uit drie opvolgende tertsen. De volgende kolom (4) bevat deze breuk in decimale vorm. Naast deze waarden is aangegeven (5) de benadering van het natuurlijke interval bij de stemming volgens gelijkzwevende temperatuur. In de beide laatste kolommen zijn zoowel de natuurlijke (6) als de getempereerde (7) intervallen in millioctaven uitgedrukt.

mogelijk de natuurlijke intervallen te benaderen met niet te veel toetsen per octaaf: In fig. 1 zijn de belangrijkste intervallen uitgezet op logarithmische schaal, uitgaande van een met „c” gemerkte grondtoon. Zou men deze zelfde intervallen echter

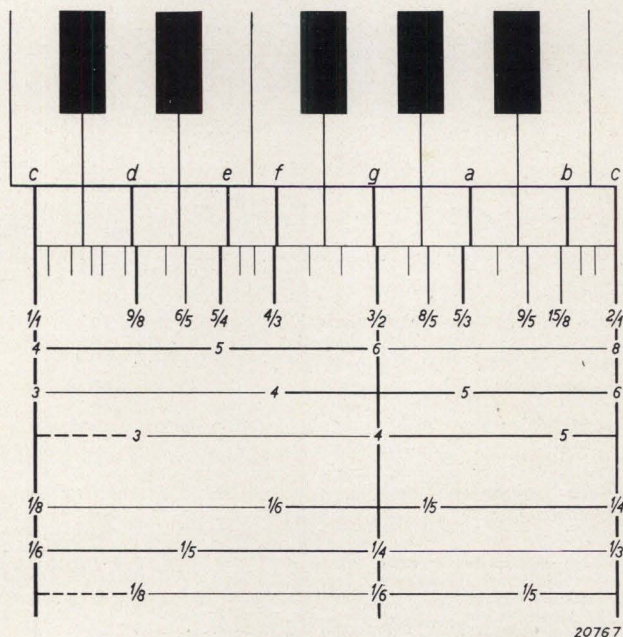


Fig. 1. Intervallen en toonladder. Onder het toetsenbord van een piano zijn op logarithmische schaal uitgezet de frequentieverhoudingen van de tonen volgens de „gelijkzwevende temperatuur” met daaronder weer die van de tonen volgens de natuurlijke intervallen. Daarbij zijn door letters de muzikale namen der noten aangegeven en door gewone breuken de frequentieverhoudingen van de natuurlijke tonen ten opzichte van de grondtoon c.

Door dikke lijnen zijn de tonen van de majeur (dur) toonladder aangegeven. Deze kunnen wij ontstaan denken uit een drievoudige toepassing van het majeuraccord, waarvan de tonen een frequentieverhouding bezitten als 4 : 5 : 6, d.w.z. een groote terts en een quint. De figuur laat zien hoe met dit accord de tonen van de toonladder gevonden worden. Het blijkt uit de figuur, dat deze toonladder met goede nauwkeurigheid benaderd wordt door die tonen volgens de getempereerde schaal, welke bij de witte toetsen van het pianoklavier liggen.

De intervallen, welke door iets dünnere lijnen aangegeven zijn, en welke door een deel der zwarte toetsen benaderd kunnen worden, zijn gevonden door het mineur (mol) accord op overeenkomstige wijze toe te passen. Dit mineuraccord kan beschouwd worden als een omkeering van het majeuraccord, waarbij de frequentieverhouding wordt ($1/4 : 1/5 : 1/6$). De gelijkzwevende temperatuur levert nog twee tonen tusschen c en d en tusschen f en g, waarmede van c uitgaande geen eenvoudige intervallen overeenkomen. Het zal echter duidelijk zijn, dat, indien uitgegaan wordt van een der andere tonen van de toonladder, wel degelijk ook deze tonen gebruikt moeten worden.

ten opzichte van een der aldus gevonden tonen nogmaals vormen, dan ontstaan voortdurend nieuwe tonen, die in de figuur gedeeltelijk door dünnere lijnen zijn aangeduid, zoodat het niet mogelijk is om met een eindig aantal deelpunten te volstaan. Het blijkt echter, dat de meest belangrijke intervallen goed benaderd kunnen worden door een verdeling van de octaaf in 12 gelijke deelen,

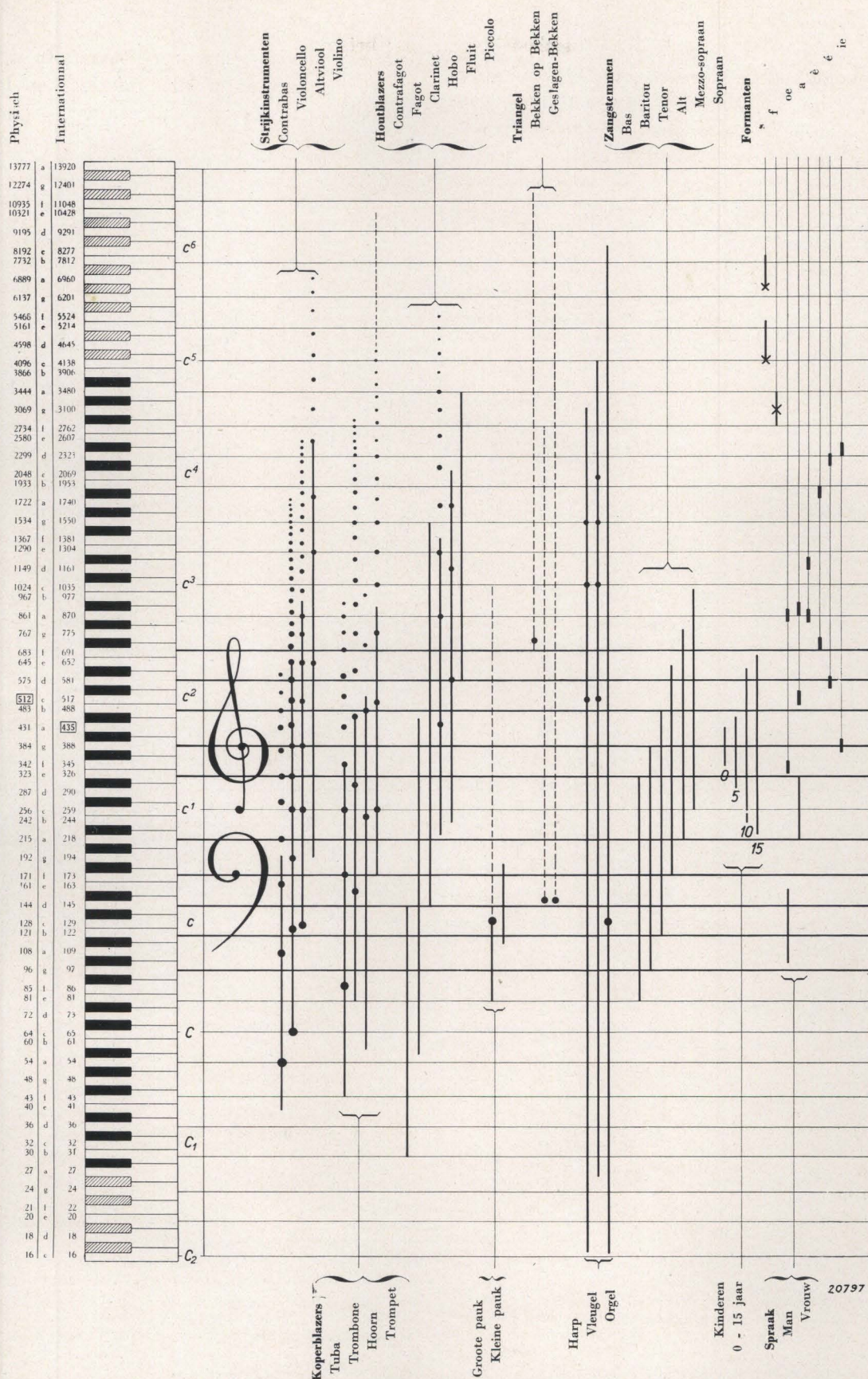


Fig. 2. Toonsomvang van muziekinstrumenten en stemmen. Voor de verschillende muziekinstrumenten en stemmen is met een dikke lijn het frequentiegebied van de grondtoon aangegeven. Bij enkelen zijn voor een toon (dikke streep) de daarbij behorende boventonen als kleinere stippen of streeplijn aangeduid. Voor de spraak komen in de figuur de zg. karakteristieke boventoon (formanten) voor.

welke eveneens in fig. 1 is aangegeven, en waarbij nog nieuwe tonen tusschen *c* en *d* en tusschen *f* en *g* ontstaan. Een dergelijke gelijkmatige indeeling, bekend onder de weinig fraaie naam „gelijkzwevende temperatuur”, heeft boven die, welke door de natuurlijke intervallen gevormd wordt, het voordeel, dat de fouten in de intervallen van één enkele toon steeds even groot zijn, van welke grondtoon men ook uitgaat.

In de physica wordt in verband met het gebruik van het tientallig stelsel soms de voorkeur gegeven aan een decimale indeeling en worden bijv. centi- of milli-octaven gebruikt, die eveneens in tabel I voorkomen.

De octaaf geeft de mogelijkheid om verschillen in toonhoogte numeriek aan te geven. De absolute toonhoogte kan vastgelegd worden door nog één frequentie af te spreken, waarop alle andere betrokken worden. Hiervoor bestaan verschillende afspraken. De orkest-stemmingen gaan uit van de „*a*”, waarvan de frequentie volgens de internationale stemming 435 Hz bedraagt, waarnaast de „physikalische Stimmung” hiervoor 430,5 Hz kiest, waarbij als een voordeel beschouwd wordt, dat de c^3 een frequentie van 1024, d.i. juist 10 octaven boven 1 Hz bezit.

In de Amerikaansche wetenschappelijke literatuur wordt een grondtoon van 1000 Hz gebruikt, in combinatie met de decimale indeeling van de octaaf.

In fig. 2 is de toonsomvang van verschillende algemeen gebruikelijke muziekinstrumenten aangegeven, ter illustratie van de beteekenis van de verschillende frequentiegebieden, en tevens de frequentie van de tonen volgens de beide reeds genoemde stemmingen.

Geluidssterkte en intensiteit

Evenals de logarithme van de frequentie gebruikt wordt als maat voor de toonhoogte, gebruikt men ter aanduiding van de sterkte van een geluid de logarithme van de intensiteit van de geluidsgolf³⁾. Echter is de motiveering hier minder dwingend, omdat de geluidsindruk niet geheel overeenkomt met de logarithme van de intensiteit. Het is bijzonder moeilijk, het verband tusschen beide grootheden aan te geven, in de eerste plaats al, omdat de geluidssterkte niet alléén door de intensiteit bepaald wordt, doch in hooge mate

mede van de toonhoogte afhangt en bovendien nog beïnvloed wordt door het timbre.

In de tweede plaats is de beoordeeling van overeenkomstige verschillen in geluidsindruk veel minder exact en veel moeilijker uit te voeren dan bij verschillen in toonhoogte het geval was. De resultaten van de pogingen, welke gedaan zijn om het verband tusschen geluidssterkte en intensiteit vast te stellen zijn alles behalve bevredigend en een discussie daarvan ligt buiten het bestek van dit artikel. Wel is het met vrij groote nauwkeurigheid mogelijk, de gelijkheid van de sterkte van twee geluiden vast te stellen, ook wanneer deze veel in karakter verschillen. Bij een gegeven frequentie en intensiteit kan men bovendien vrij goed het intensiteitsverschil bepalen, dat een juist herkenbaar verschil in geluidssterkte teweeg brengt. Het blijkt, dat voor een toon van ongeveer 1000 Hz de verhouding I_2/I_1 van de intensiteiten, welke nog juist door het oor als verschillend kunnen worden waargenomen, over een groot gebied dezelfde is en wel ongeveer 1,2. Bij gebruik van een logarithmische schaal zullen dus twee van elkaar juist te onderscheiden intensiteiten een vrijwel gelijk verschil vertoonen. Dit is zeer voordelig, wanneer men bijv. de nauwkeurigheid van een grafiek wil laten aansluiten bij het onderscheidingsvermogen van het oor. Bovendien overziet men in deze schaal gemakkelijk het geheele enorme intensiteitsgebied van $1 : 10^{13}$, dat door het oor kan worden bestreken (zie fig. 3 en 5), wat bij gebruik van een lineaire

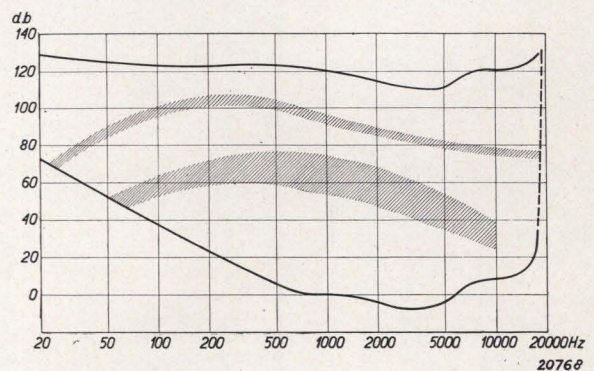


Fig. 3. Gehoorgebied. Als functie van de toonhoogte is hier met getrokken lijnen aangegeven de minimale intensiteit, welke door het oor nog juist kan worden waargenomen (drempelwaarde), benevens de maximale intensiteit, welke het oor verdragen kan. Binnen dit gebied liggen dus alle met het oor waarneembare tonen. Verder zijn geharceerd aangegeven de gebieden, waarin de maximale intensiteiten bij de verschillende frequenties liggen voor een groot orkest van 75 man, dat forto speelt en daaronder voor de spraak. (Volgens L. J. Sivian, H. K. Dunn, S. D. White, Journ. acoust. Soc. Amer. 2, 330, 1931.)

schaal geheel onmogelijk is. De logarithmische schaal heeft nog andere praktische voordeelen, welke aan het slot zullen worden besproken.

³⁾ De intensiteit van een loopende geluidsgolf is de hoeveelheid energie, welke per tijdseenheid en per oppervlakte-eenheid loodrecht op de voortplantingsrichting van de golf wordt getransporteerd. Als eenheid komt de erg per sec per cm^2 in aanmerking, doch veelal wordt de intensiteit uitgedrukt in $\text{watt}/\text{cm}^2 = 10^7 \text{ erg sec}^{-1} \text{ cm}^{-2}$.

Bel en Neper

Om een sterkteverschil aan te geven, zou men volgens het bovenstaande kunnen zeggen: „de logarithme van de verhouding van de intensiteiten van twee geluiden bedraagt N ”, doch het is duidelijk, dat deze omslachtige methode onbruikbaar is. Daarom zijn de eenheden „bel” en „neper” ingevoerd.

Het verschil tusschen beide ligt in de eerste plaats in de keuze van het gebruikte logarithmestelsel ⁴⁾, het Briggiaansche met grondtal 10 voor de „bel” en het Neperiaansche met grondtal $e = 2,718...$ voor de „neper”. Bovendien verschillen zij nog in de afspraak betreffende de grootheden, welke vergeleken worden: Bij de „bel” zijn dit steeds energieën of vermogens, bij de „neper” daarentegen amplituden, zooals geluidsdruk, snelheid van luchtdeeltjes, elektrische stroomen of spanningen. Teneinde het principieele verschil duidelijk te maken en het verband aan te kunnen geven, zal dit punt nog iets nader worden toegelicht.

De sterkte van een zich voortplantende vlakke geluidsgolf in een bepaald punt kan men aangeven door de intensiteit I (zie noot ³⁾) dan wel door de effectieve waarde van de drukvariëties p of van de snelheid der luchtdeeltjes v . Tusschen deze grootheden bestaat het volgende verband:

$$I = p v = \frac{p^2}{\rho c} = \rho c v^2, \dots (1)$$

waarbij ρ de dichtheid van het medium (voor lucht $\rho = 0,0013 \text{ gr/cm}^3$) en c de geluidssnelheid van het medium is (voor lucht $c \sim 332 \text{ m/sec}$). Deze formule geldt uitsluitend voor vlakke loopende golven.

Evenzoo kan men bij elektrische overdracht van energie geven, hetzij het overgebrachte vermogen W , dan wel de spanning e of de stroom i , mits de weerstand R van de verbruiker in de laatste gevallen mede gegeven is:

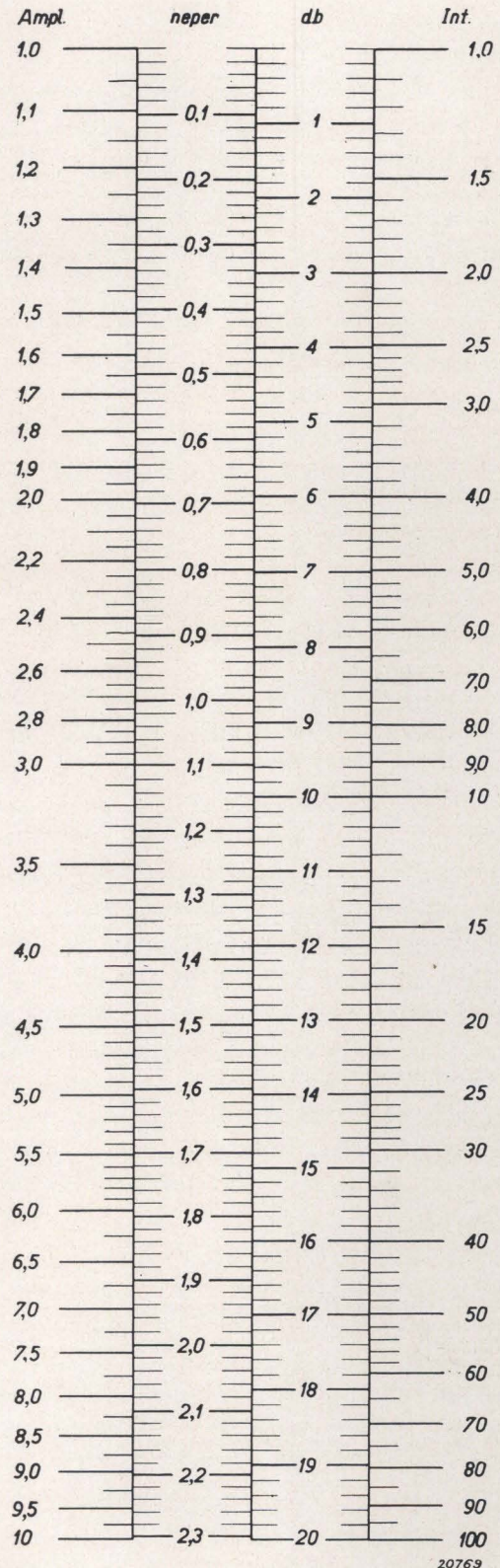
$$W = e i = \frac{e^2}{R} = i^2 R \dots (2)$$

Men ziet, dat het product ρc in verg. (1) een groote analogie vertoont met de weerstand R in verg. (2). ρc wordt „specifieke acoustische weerstand” genoemd. Voor lucht is $\rho c = 41 \text{ gr cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$.

⁴⁾ Wij zullen ${}^{10}\log a$ met $\lg a$ aanduiden en ${}^e\log a$ met $\ln a$. De omrekening is zeer eenvoudig:

$$\lg a = 0,434 \ln a \quad \ln a = 2,30 \lg a.$$

In fig. 4 kan men het verband tusschen amplitudeverhouding, aantal nepers en decibels en intensiteits- of energieverhouding aflezen.



20769

Fig. 4. Schaalverdelingen in amplitudeverhouding, neper, decibel en intensiteitsverhouding.

Uit de formules (1) en (2) volgt, dat de logarithme van de verhouding van twee vermogens of intensiteiten het dubbele is van de logarithme van de verhouding van de daarbij behorende amplituden van spanningen, stroomen, drukken of snelheden.

$$\log \frac{W_2}{W_1} = 2 \log \frac{e_2}{e_1} = 2 \log \frac{i_2}{i_1} .$$
$$\log \frac{I_2}{I_1} = 2 \log \frac{p_2}{p_1} = 2 \log \frac{v_2}{v_1} .$$

Indien onder niveauverschil van twee grootheden verstaan wordt de logarithme van hun verhouding, zullen de volgende definities begrijpelijk zijn:

Bel: Het verschil in niveau van twee vermogens of intensiteiten bedraagt N bel, indien

$$N = \lg \frac{W_2}{W_1} \quad \text{of} \quad \frac{W_2}{W_1} = 10^N .$$

Decibel: De decibel is het tiende deel van een bel; zoodat het verschil in niveau van twee vermogens of intensiteiten n decibel bedraagt, indien

$$n = 10 \lg \frac{W_2}{W_1} \quad \text{of} \quad \frac{W_2}{W_1} = 10^{\frac{n}{10}} .$$

Neper: Het verschil in niveau van twee amplituden (van spanning, stroom, drukvariatie, snelheid enz.) bedraagt M neper, indien

$$M = \ln \frac{a_2}{a_1} \quad \text{of} \quad \frac{a_2}{a_1} = e^M .$$

Het is op grond van deze definities alleen mogelijk, het verschil in niveau van twee vermogens of intensiteiten in bels of decibels uit te drukken, men kan niet het verschil in niveau van twee spanningen of twee snelheden in decibel geven, daarentegen wel in nepers. Voor de berekening van het verschil in niveau van twee vermogens zijn natuurlijk wel de gemeten spanningen (e), stroomen (i), snelheden (v) of drukken (p) bruikbaar, mits de weerstand van de gebruiker in beide gevallen dezelfde is ⁵⁾.

Dit geschiedt dan bijv. volgens:

$$n = 10 \lg \frac{W_2}{W_1} = 20 \lg \frac{e_2}{e_1} .$$

⁵⁾ Het is dus onjuist, bij een versterker met een ingangs-impedantie van $R_1 = 1$ megohm en een belastingsweerstand van $R_2 = 1000$ ohm de versterking in decibels te berekenen als $n = 20 \lg e_2/e_1$, doch dit behoort te zijn

$$n = 10 \lg \left(\frac{e_2^2}{R_2} \cdot \frac{R_1}{e_1^2} \right) = 20 \lg \frac{e_2}{e_1} + 10 \lg \frac{R_1}{R_2} = 20 \lg \frac{e_2}{e_1} + 30 .$$

Het omrekenen van nepers in decibels en omgekeerd kan onder de voorwaarde van gelijke weerstanden eenvoudig geschieden volgens de formules:

$$1 \text{ db} = 0,115 \text{ neper} \qquad 1 \text{ neper} = 8,7 \text{ db}$$

Indien men slechts onthoudt, dat $\lg 2 = 0,30$ en dat 1 db overeenkomt met een toename van ca 25 % in de energie, dan kan men de bij een gegeven aantal decibel behorende intensiteitsverhouding gemakkelijk uit het hoofd berekenen. Men verkrijgt de volgende reeks van getallen:

decibel	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
verhouding	1	1,26	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,3	7,9	10

Om de verhouding der amplituden te vinden, zoekt men het getal, dat behoort bij het halve aantal db.

Intensiteitsniveau en geluidsniveau

De decibel zoowel als de neper zijn eenheden, welke verschillen in niveau kunnen aangeven. Voor zuivere tonen kan de intensiteit éénduidig vastgelegd worden, indien een bepaalde intensiteit als nulniveau aangenomen wordt. Het verschil in db tenopzichte van het nulniveau wordt dan intensiteitsniveau genoemd.

Tabel II. Verband tusschen verschillende acoustische grootheden voor vlakke loopende geluidsgolven in lucht.

Decibel	Phon	Intensiteit	Geluids-druk	Snelheid der lucht-deeltjes	Amplitude der trillingen in lucht
boven 10^{-16} W/cm ²	db boven $2,5 \cdot 10^{-16}$ W/cm ²	10^{-9} W/cm ²	dyne/cm ²	10^{-3} cm/sec	10^{-6} cm bij 1000Hz
64	60	0,25	0,32	8	1,8
65	61	0,32	0,36	9	2,0
66	62	0,40	0,40	10	2,2
67	63	0,50	0,45	11	2,5
68	64	0,63	0,50	12	2,8
69	65	0,8	0,56	14	3,2
70	66	1,0	0,63	16	3,6
71	67	1,25	0,71	18	4,0
72	68	1,6	0,80	20	4,5
73	69	2,0	0,89	22	5,0
74	70	2,5	1,0	25	5,6
75	71	3,2	1,1	28	6,3
76	72	4,0	1,25	32	7
77	73	5,0	1,4	36	8
78	74	6,3	1,6	40	9
79	75	8	1,8	45	10
80	76	10	2,0	50	11
81	77	12,5	2,2	56	12
82	78	16	2,5	63	14
83	79	20	2,8	71	16
84	80	25	3,2	80	18

Het is in hooge mate te betreuren, niet alleen dat meer dan één nulniveau in gebruik is, doch vooral, dat vaak wordt nagelaten aan te geven, welk nulni-

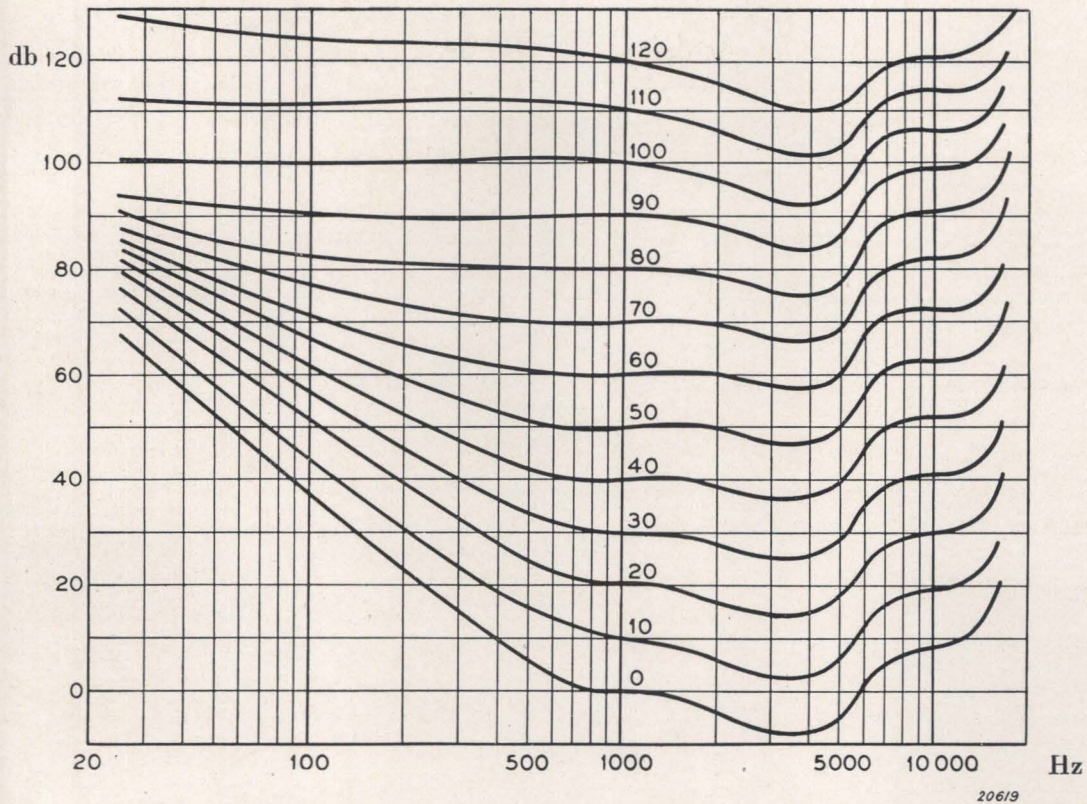


Fig. 5. Intensiteitsniveau in db boven 10^{-16} watt/cm² als functie van de frequentie voor constante geluidssterkte. De getallen bij de lijnen geven het „geluidsniveau”, d.i. het intensiteitsniveau van de betreffende geluidssterkte voor een toon van 1000 Hz. De onderste lijn beantwoordt aan de drempelwaarde van het menselijk oor. Het is opvallend, dat de hierbij hoorende intensiteit met afnemende frequentie zeer sterk oploopt, terwijl de krommen voor hogere geluidssterkten veel vlakker verlopen.

De onregelmatigheid, welke in het gebied van 2000 - 6000 Hz in alle krommen voorkomt, wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de buiging van de geluidsgolven om het hoofd. Indien men de geluidsdruk in de gehoorgang meet, verlopen de krommen glad. (Volgens H. Fletcher en W. A. Munson, Journ. acoust. Soc. Amer. 5, 82, 1933.)

veau gebruikt is ⁶⁾. In Amerika is voor het nulniveau een intensiteit van 10^{-16} watt/cm², welke ongeveer bij de drempelwaarde van het oor ligt, gebruikelijk; in Duitsland is het normaal om het intensiteitsniveau, dat correspondeert met 1 dyne/cm² geluidsdruk in een vlakke golf gelijk 70 db te stellen. Het nulniveau heeft dan een druk van $0,32 \cdot 10^{-3}$ dyne/cm² en een intensiteit van $2,5 \cdot 10^{-16}$ watt/cm². Het is tevens wel gebruikelijk om de db uitsluitend voor verschillen in niveau te gebruiken en het niveau zelf uit te drukken in phon, waarbij dan 70 phon beantwoorden aan een geluidsdruk van 1 dyne/cm². In tabel II is voor een vlakke loopende geluidsgolf het verband aangegeven tusschen het intensiteitsniveau (db boven 10^{-16} W/cm² en phons)

⁶⁾ Hierdoor kan de geheele opgave zinloos worden. „De intensiteit van een luidspreker is 80 db” heeft geen betekenis, indien niet wordt aangegeven, welke intensiteit als nulniveau is gebruikt en op welke afstand deze intensiteit bepaald is; of indien het totale afgegeven vermogen bedoeld is, welk vermogen als nulniveau gekozen is. De bovenstaande zin kan dus bijv. betekenen: „De intensiteit op de as van een luidspreker op 2 m afstand is 80 db boven 10^{-16} watt/cm²,” of ook bijv. „het totale vermogen van de luidsprekers is 80 db boven 1 μ watt”.

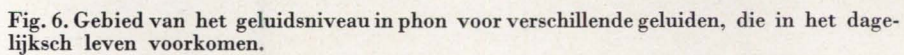
en de intensiteit en verder de daarbij behorende effectieve waarde van de drukvariaties en van de snelheid der luchtdeeltjes. Ter orientatie zijn in de laatste kolom opgenomen de amplituden van de luchtdeeltjes bij een frequentie van 1000 Hz⁷⁾.

Voor geluiden van verschillend karakter kan de geluidssterkte bij gelijk intensiteitsniveau zeer uiteenlopen. In het bijzonder kunnen zuivere tonen van verschillende frequentie zeer groote verschillen in sterkte vertoonen. In fig. 5 is als functie van de frequentie het intensiteitsniveau voor constante geluidssterkte geteekend. Men ziet, dat bij dezelfde sterkte bij de lage frequenties een zeer veel grotere intensiteit behoort dan in het middengebied. Het verschil kan 60 db bedragen, dus een factor 1 miljoen.

De intensiteit, welke nog juist waarneembaar is, noemt men de drempelwaarde. De hieraan

⁷⁾ Deze amplitude a wordt uit de effectieve waarde v van de snelheid voor een bepaalde frequentie f berekend met:

$$a = \frac{v}{2\pi f} \sqrt{2}.$$



Teneinde een overzicht te geven van de verschillen welke bij het gebruik van lineaire en logarithmische schalen ontstaan, is eenzelfde willekeurige karakteristiek, welke bijv. het verloop van de geluidsintensiteit van een luidspreker als functie van de frequentie zou kunnen voorstellen, in *fig. 7* op verschillende wijzen weergegeven.

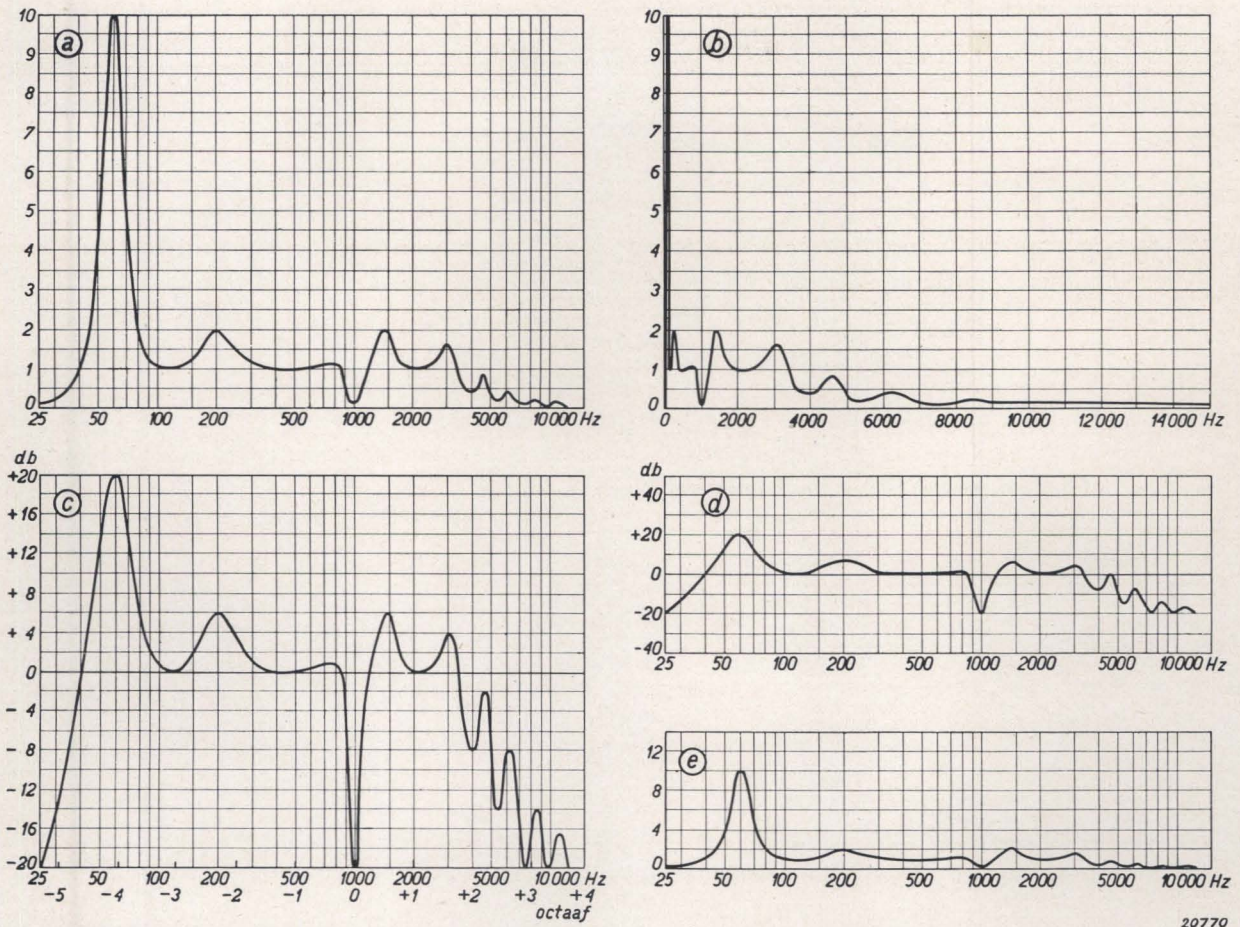


Fig. 7. Voorstelling van eenzelfde frequentiekaracteristiek met lineaire en logarithmische schaalverdeling van abscis en ordinaat.

a abscis logarithmisch; ordinaat lineair,

b abscis lineair; ordinaat lineair,

c abscis logarithmisch; ordinaat logarithmisch,

d als c met verkleinde schaal voor de ordinaat,

e als a met verkleinde schaal voor de ordinaat.

- 1) In de eerste plaats valt op (vergelijk *a* en *b*) dat, terwijl bij de logarithmische frequentieschaal alle octaven evenzeer tot haar recht komen, bij de lineaire schaal het gebied beneden 1000 Hz tot een onbelangrijk stukje is samengedrukt, hoewel dit voor het oor van het meeste belang is. Daarentegen neemt het gebied boven 5000 Hz, dat slechts $1\frac{1}{2}$ octaaf omvat, een ongerechtvaardigd groot deel van de figuur in.
- 2) In de tweede plaats (zie *a* en *b*) is de breedte van de verschillende pieken en dalen van de krommen op de logarithmische schaal even groot, indien deze hetzelfde percentage van de frequentie bedraagt. Dit geeft een betere indruk van de demping van de resonanties, welke eventueel de oorzaak van deze onregelmatigheden zijn.
- 3) In de derde plaats (zie *a* en *c*) is het duidelijk, dat de lineaire intensiteitsschaal de piek bij 60 Hz als veel belangrijker voorstelt dan het dal bij 1000 Hz, terwijl deze bij gebruik van de logarithmische schaal even groot zijn.
- 4) Het verloop van de kromme boven 5000 Hz (vergelijk *b* en *c*) is bij de geheel lineaire figuur vrijwel vlak, terwijl de logarithmische schaal hier nog groote onregelmatigheden aantoon, welke zeker invloed op de kwaliteit van de geluidsweergave zullen hebben.
- 5) Het is duidelijk, dat wanneer de meting bijv. met het vierde deel van het vermogen zou geschieden, de vorm der kromme geheel ongewijzigd blijft, indien een logarithmische schaal gebezigd wordt. Het eenige verschil zou bestaan in een verschuiving van de geheele kromme over 6 db naar beneden. Bij gebruik van een lineaire intensiteitsschaal (vergelijk *a* en *e*) verandert de kromme echter in hooge mate en lijkt in het geval *e* veel gladder te verlopen.
- 6) Tegen het gebruik van de logarithmische schaal wordt wel ingebracht, dat de onregelmatigheden in een karakteristiek worden vervlakt. Dit is in zijn algemeenheid onjuist: wel worden de pieken ten opzichte van de dalen verkleind (vergelijk *a* en *c*) of van acoustisch

standpunt beschouwd tot hun juiste proporties teruggebracht, doch overigens hangt de grootte der afwijkingen geheel af van de keuze van de eenheid voor de schaal (vergelijk c met e , waarbij de logaritmische schaal grotere onregelmatigheden vertoont, en a met d , waar dit met de lineaire schaal het geval is).

- 7) Het frequentie- en intensiteitsgebied, dat in één figuur goed overzien kan worden, is bij gebruik van een logaritmische schaal vrijwel onbeperkt en bij een lineaire schaal practisch 1 : 10.
- 8) Een nadeel van de logaritmische schaal voor sommige toepassingen is, dat het nulpunt bij $-\infty$ ligt en ook negatieve waarden niet weer-

- 9) Bij een lineaire schaal is het vermogen van een samengesteld geluid gelijk aan de som van de vermogens van de componenten. Bij een logaritmische schaal is dit niet het geval. Daarentegen wordt bij een logaritmische schaal de totale versterking of verzwakking eenvoudig verkregen door die, welke de afzonderlijke elementen geven, in db uit te drukken en op te tellen. In vele gevallen is reeds deze eigenschap voldoende belangrijk om de toepassing van de decibel of neper te rechtvaardigen.

EEN UNIVERSEEL MEETAPPARAAT VOOR RADIOLAMPEN

door D. ERINGA.

Samenvatting. Beschreven wordt een toestel, dat een combinatie is van een meetapparaat voor radiolampen en een universeel meetapparaat.

Alle schakelingen worden automatisch verricht door het sluiten van een contactbrug met 140 contacten na het daarin plaatsen van verschillende kaarten. De kwaliteit van een lamp voor radio-ontvangst wordt beoordeeld aan de uitslag van de wijzer in het roode of blauwe vak van de schaal van de mA-meter. Ook metingen van spanningen, stroomen, weerstanden, capaciteiten en van de uitgangsspanning van radiotoestellen zijn met het apparaat uit te voeren. Weerstanden worden gemeten met gelijkstroom, condensatoren met wisselstroom van 50 perioden.

Inleiding

Sinds lange tijd bestaat de behoefte aan een eenvoudig te bedienen meettoestel voor radiolampen, waarmee, ook zonder dat men de beschikking heeft over een uitgebreide laboratoriuminrichting, de goede werking van radiolampen beoordeeld kan worden. Deze behoefte ontstaat bijvoorbeeld, wanneer men de kwaliteit wil controleeren van een in een magazijn aanwezige voorraad radiolampen, of ook wanneer een verkoper een gebruiker wil aantoonen, dat een lamp al dan niet goed functioneert. De oplossingen, die tot nu toe hiervoor bestonden, waren óf voor niet technisch georiënteerde personen te ingewikkeld, óf zij gaven een onvoldoend algemeene controle.

Het hier ontwikkelde meettoestel biedt een bijzonder bruikbare oplossing, daar het aan de volgende eischen voldoet:

- 1) het is geschikt voor alle practisch voorkomende typen van lampen,
- 2) de bediening is uitermate eenvoudig,
- 3) foutieve manipulaties leveren geen gevaar voor de lampen en voor het meettoestel zelf,
- 4) men behoeft geen lijsten met afkeurgrenzen voor de verschillende stroomen en spanningen te raadplegen,
- 5) men is niet in staat de lampen door onjuiste manipulaties beter of slechter te laten schijnen dan zij werkelijk zijn.

Uiterlijk en bediening van het apparaat

Fig. 1 geeft een foto van het volledige apparaat. Er komen op voor:

- 1) Twaalf verschillende lamphouders, geschikt voor vrijwel alle in de handel voorkomende uitvoeringsvormen van lampvoeten (Europeesche, Engelsche, Amerikaansche).

- 2) Een milliamperemeter met schaal in twee deelen: rood en blauw. Staat de wijzer op rood, dan is de lamp „slecht” en in blauw „goed”.



Fig. 1. Foto van het complete meetapparaat.

- 3) Een neonlampje voor het vaststellen van sluitingen tusschen electroden onderling.
- 4) Een gloeilampje voor het vaststellen van gloeidraadbreuk.
- 5) Een schakelaar met acht drukknoppen, die gebruikt worden om de electroden op sluiting en onderbreking te onderzoeken; deze schakelaar is zóó uitgevoerd, dat steeds hoogstens één der knoppen ingedrukt kan zijn, zoodat niet meer dan één schakeling tegelijk wordt bewerkstelligd.
- 6) Een potentiometer om de netspanning op de juiste waarde te corrigeren.
- 7) Twee contactbussen voor een meetsnoer om het apparaat tevens te kunnen gebruiken voor het meten van spanningen, stroomen, weerstanden, capaciteiten of van de uitgangsspanning van een radiotoestel.

- 8) Een sleuf voor het inschuiven van meetkaarten in de zg. „contactbrug”. *Alle schakelingen, welke namelijk voor het meten van een bepaald lampen-type noodig zijn, worden automatisch verricht door het plaatsen van de sleutelkaart van dit type in de contactbrug.* Bij ieder type lamp behoren een of meer kaarten.

Van deze contactbrug geeft fig. 2 een afbeelding.

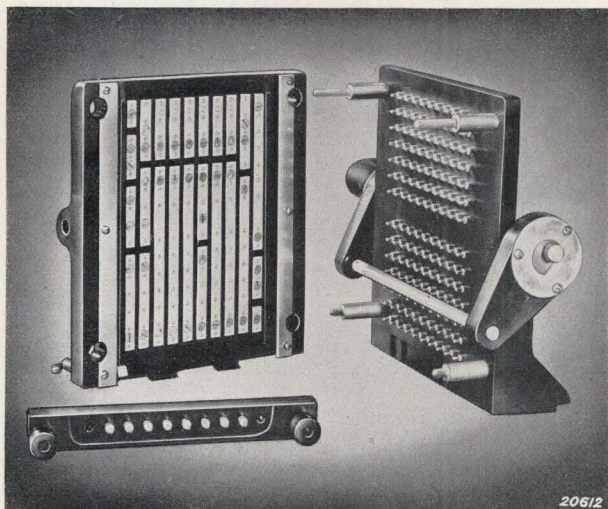


Fig. 2. Foto van de contactbrug.

Hierop komen 140 pistons voor op een vaste plaat (rechts) en een gedeelte (links), dat heen en weer bewogen kan worden met een handel aan de rechterzijde van het toestel en waarop contactstrippen zijn gemonteerd, welke in tien rijen naast elkaar zijn gerangschikt; een dergelijke rij zullen we verder een „rail” noemen. Door de kaart er in te plaatsen en de brug te sluiten, worden deze pistons met de rails verbonden, indien ze vallen door een er tegenover liggend gat in de meetkaart. Deze kaart is nl. van isoleerend materiaal. Waar geen gat voorkomt, blijft de piston van de daarachter liggende rail geïsoleerd.

In fig. 3 is als voorbeeld een foto gegeven van de meetkaart voor de ontvanglamp AL 4. Op de top van de kaart is aangebracht een schakelschema van de te meten radiolamp, waaruit te zien is, aan welke contactbussen de verschillende elektroden zijn verbonden. De nummers, bij deze elektroden geplaatst, komen overeen met de nummers bij de lamphouders en eveneens met de nummers, welke geplaatst zijn op de achttvoudige schakelaar.

De verbindingen, die na het inschuiven van de kaart door het sluiten van de contactbrug gemaakt worden, dienen voor:

- a) het geven van de gewenste gloeispanning,

- b) het kiezen van de anodespanning, eventueel het vastleggen van de meetspanning voor condensatoren of weerstanden,
 c) het vastleggen van de schermrooster-spanning, eventueel (voor gelijkrichterlampen) het kiezen van de wisselspanning op de anode,
 d) het kiezen van de negatieve rooster-spanning,
 e) het vastleggen der juiste belastingweerstand voor het meten van gelijkrichterlampen,
 f) het inschakelen van parallel- en voorschakelweerstand in de meterkring, waardoor steeds dezelfde schaal rood-blauw voor de verschillende typen van lampen de kwaliteit kan aangeven,
 g) het omschakelen der contactbussen van de betreffende lamphouder; zodoende krijgt iedere electrode van de lamphouder door middel van de gaten in de kaart de voor haar bestemde spanning.

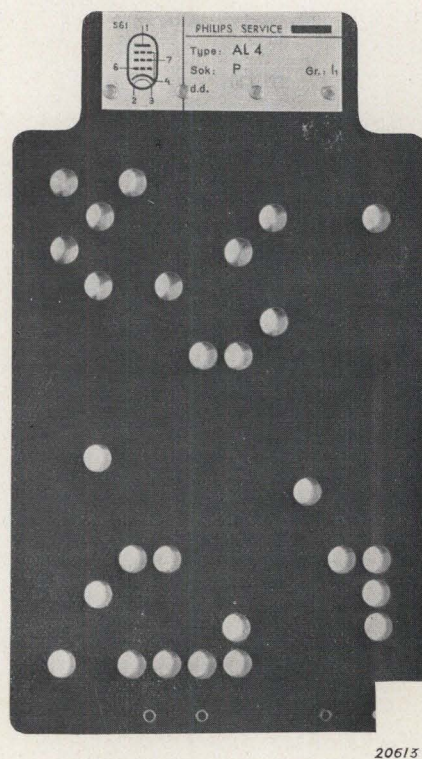


Fig. 3. Foto van de meetkaart voor een ontvanglamp AL 4.

Door de onder g) genoemde schakeling is het niet noodig meerdere lamphouders van hetzelfde type te gebruiken.

Een meting verloopt op de volgende wijze: De lamp wordt in de lamphouder en de kaart in de contactbrug geplaatst. Bij geopende brug wordt gecontroleerd:

- 1) direct na het inplaatsen van de lamp, of de gloeidraad intact is.
- 2) door de achtevoudige schakelaar knop voor knop

Nagegaan wordt nu:

- 3) of de lamp voldoende anodestroom eventueel schermroosterstroom geeft.

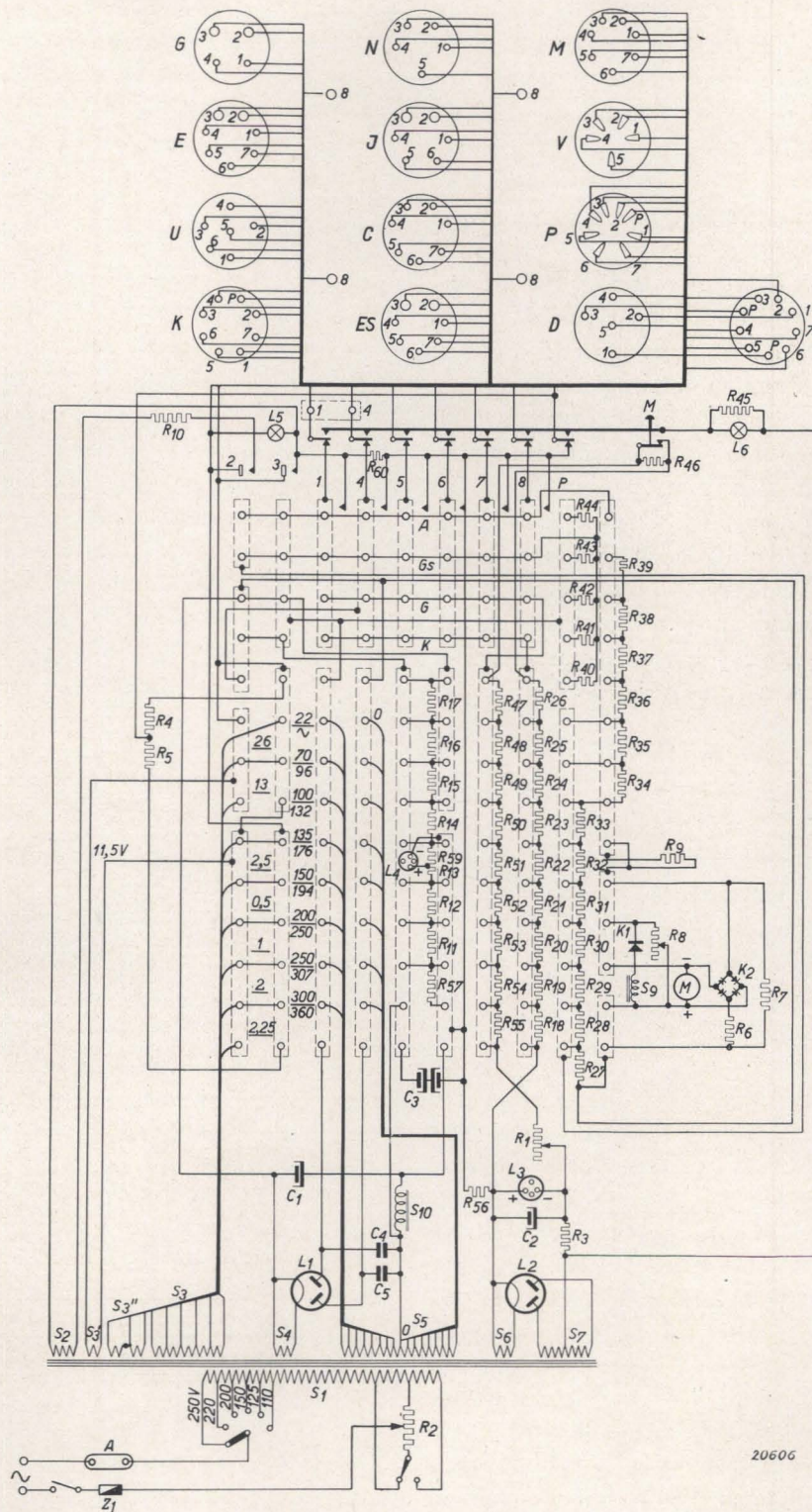


Fig. 4. Schema van het meetapparaat.

neer te drukken, of er sluiting tusschen de electroden voorkomt.
Zijn 1) en 2) in orde, dan wordt de contactbrug gesloten.

- 4) of de steilheid voldoende is.
 - 5) of de leidingen der verschillende electroden intact zijn en de isolatie van de electroden goed is.
- Ook de manipulaties na het inschakelen van de

brug bestaan in het knop voor knop indrukken van de achttvoudige drukknopschakelaar.

Verklaring van het schema

In fig. 4 is het schema afgedrukt van het meetapparaat, waarvan wij in hetgeen hier volgt de belangrijkste details zullen bespreken. In dit schema zijn de steeds aanwezige verbindingen met een stip weergegeven, terwijl verbindingen, die de pistons tot stand kunnen brengen, door een kringetje worden voorgesteld.

De gloeispanning. De gloeispanning wordt geleverd door een achttal wikkelingen van de transformator, op het schema aangegeven met $S_3-S_3'-S_3''$. Deze wikkelingen kunnen alle gloeispanningen geven van 1 - 56 V, met $\frac{1}{2}$ V opklimmend, gedeeltelijk met $\frac{1}{4}$ V opklimmend. De gloeispanning wordt afgetakt van de eerste twee rails links.

De anodespanning. Voor de hiervoor benodigde schakelingen dienen de derde en vierde rail van links. De gelijkrichterlamp L_1 , op welks platen naar verkiezing verschillende wisselspanningen kunnen worden gezet, levert de anodespanning. Het plaatsspanningsapparaat is zoo geconstrueerd, dat de spanning onafhankelijk is van de afgenomen stroom tot ongeveer 30 mA.

De schermroosterspanning. Deze wordt afgenomen van een potentiometer, welke ligt aan de vijfde en zesde rail van links. De potentiometerweerstand is tevens belastingsweerstand voor het bovenvermelde plaatsspanningsapparaat. De potentiometer bestaat uit de weerstanden R_{11} tot en met R_{17} . De neonlamp L_4 dient nog speciaal om de schermroosterspanningen van 60, 80 en 100 V te stabiliseeren.

Belastingsweerstand voor gelijkrichters. De weerstanden $R_{11} - R_{17}$ worden bij de schakeling voor gelijkrichters eveneens gebruikt als belastingsweerstand. In dit geval wordt de wisselstroom van de derde en vierde rail niet gelegd aan de anoden van de gelijkrichterlamp L_1 doch inplaats hiervan aan de anoden van de te meten gelijkrichterlamp.

De negatieve roosterspanning. De negatieve roosterspanning wordt op normale wijze van een potentiometer afgetakt, welke gevoed wordt door een afzonderlijke gelijkrichter L_2 . Voor het verkrijgen van de aftakkingen dienen de zevende en achtste rail van links.

Voor het meten van de steilheid kan de weerstand van de potentiometer zoodanig worden verhoogd, dat de negatieve roosterspanning door het drukken op de knop M met 2 V wordt verhoogd. Door het verschil der aflezings op de milliampere-

meter wordt dus de steilheid bij een variatie van 2 V gemeten. Dit is meestal voldoende.

De meter met diverse shunts. De twee laatste rails dienen voor het inschakelen van verschillende shunts parallel aan de meter. Het aantal mogelijkheden door combinaties van contacten is zoo groot (ongeveer 70), dat men op de meter de keurbieden „slecht” en „goed” voor alle lampen kan gebruiken.

Beveiliging van de meter

Het spreekt vanzelf, dat, waar dit meetinstrument wordt gebruikt voor het meten van radiolampen door ongeoeffenden, het wel zal kunnen voorkomen, dat een lamp wordt gemeten, welke sluiting heeft, bijv. tusschen rooster en kathode, of dat de lamp deze sluiting krijgt tijdens het meten. Het is derhalve absoluut noodzakelijk om een speciale beveiliging aan te brengen, zoo, dat de meter niet beschadigd worden kan, daar dit een groote beperking in de bruikbaarheid van het meetapparaat zou beteekenen. Waar de door ons gebezigde oplossing niet algemeen gangbaar is, willen wij haar wat uitvoeriger bespreken.

De schakeling is weergegeven in fig. 5. Parallel

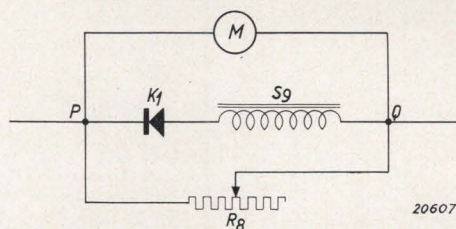


Fig. 5. Schakeling van de meter met sperlaag-gelijkrichter.

aan de meter M is nl. een sperlaaggelijkrichter K_1 aangesloten, benevens een correctieweerstand R_g . Een sperlaagcel heeft de eigenschap, dat zijn weerstand afhangt van de spanning aan de klemmen. In fig. 6 is de weerstand in ohm uit-

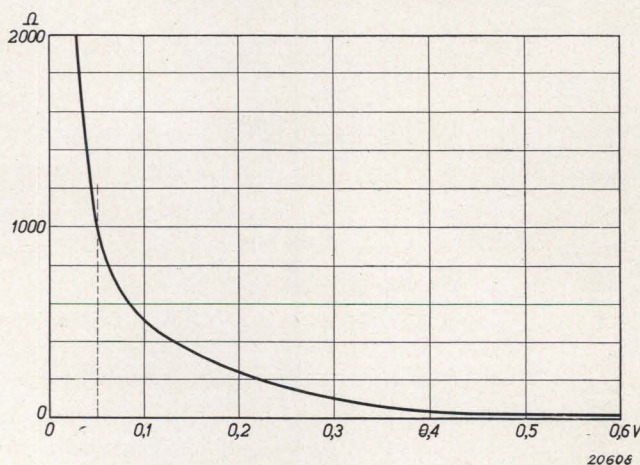


Fig. 6. Karakteristiek van de sperlaag-gelijkrichter.

gezet als functie van de aangelegde spanning in volts. Is nu de spanning tussen P en Q slechts van de orde van grootte van 0,05 V, dan is de weerstand van de cel ongeveer 1000 ohm en de stroom, die van buitenaf wordt toegevoerd, zal voor het belangrijkste gedeelte gaan door de meter met een weerstand van 200 ohm. Stijgt echter de stroom, die van buitenaf komt, belangrijk, dan zal de spanning tussen P en Q niet evenredig daarmee toenemen, want bij toenemende spanning aan de klemmen daalt de weerstand van de cel belangrijk, nl. tot eenige ohm voor het geval, dat er ongeveer 0,5 V spanning op staat. Een groote stroom, die aan de klemmen P en Q wordt toegevoerd, zal dus de meter niet overbelasten, doch in hoofdzaak vloeien door de shunt met lage weerstand, gevormd door de sperlaagcel.

Bij deze oplossing doet zich echter nog een zeer storend nevenverschijnsel voor. De meter, die een weerstand van 200 ohm heeft, wordt nl. niet uitsluitend gebruikt voor het meten van ontvangelampen, doch eveneens voor het meten van gelijkrichterlampen, waarbij de te meten stroom een gelijkgerichte wisselstroom, dus een pulseerende gelijkstroom is.

Een dergelijke stroom zal, wanneer de gelijkrichterlamp werkt tegen de spanning van een condensator, een verloop hebben ongeveer zooals in fig. 7 is aangegeven. Hierin geeft de stippellijn

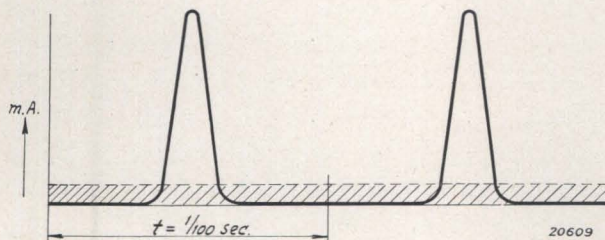


Fig. 7. Verloop van de stroom in gelijkrichterlampen. De stippellijn geeft de gemiddelde waarde aan, welke door een draaispoel-ampere-meter wordt aangewezen.

de gemiddelde waarde, welke door een draaispoel-milliamperemeter wordt aangewezen. De momentele waarde van de stroom kan gedurende een gedeelte van de periode ongeveer tienmaal zoo groot zijn en gedurende dit oogenblik stijgt ook de spanning tussen de punten P en Q . Uit de karakteristiek van de cel volgt, dat deze piekstroomen liever de weg door de cel zullen nemen, welke gedurende de korte tijd van de pieken een lage weerstand krijgt, dan over de meterspoel met betrekkelijk hoge zelfinductie. De te meten stroom wordt dus door meter en shunt vervormd. Worden er geen speciale maatregelen genomen, dan zal de

aflezing van de meter bij gelijkrichterlampen in het geheel niet juist zijn. Een oplossing is gevonden door in serie met de cel K_1 een smoorspoeltje van enkele henrys te plaatsen (S_9 in fig. 5). Hierdoor krijgt de keten $K_1 - S_9$ een zoodanige impedantie, dat een niet al te groote afwijking ontstaat. Deze spoel S_9 vormt een noodzakelijk kwaad, omdat ze een zekere inwendige weerstand heeft, bijv. 20 ohm. Deze weerstand doet een gedeelte van het goede effect van de sperlaagcel te niet.

Het meten van de radiolamp

In fig. 8 is nu door een vereenvoudigd schema weergegeven, hoe een willekeurige radiolamp met

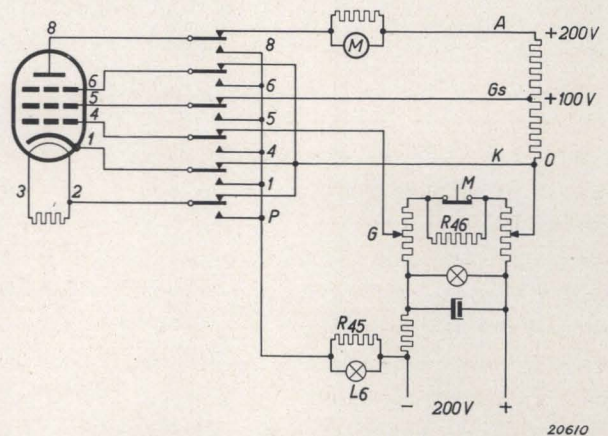


Fig. 8. Schakeling van een radiolamp met vier roosters.

bijv. drie roosters in het apparaat door het sluiten van de brug op de verschillende spanningen wordt aangesloten. Elke toevoerleiding van een electrode loopt via een enkelpolige omschakelaar. Deze 7 verschillende enkelpolige schakelaars zijn 7 knoppen van de achtevoudige drukknop, waarvan fig. 9 een beeld geeft. Het onderzoek door middel van deze schakelaar is naast de controle van de anodestroom en de steilheid een van de belangrijkste metingen.

Wanneer een knop niet is ingedrukt, wordt de daarbij behorende electrode doorverbonden met zijn voeding. Wordt de knop ingedrukt, dan wordt de toevoerleiding naar de electrode onderbroken en de electrode verbonden met de onder de knop liggende gemeenschappelijke rail, welke een spanning heeft van ongeveer 200 V negatief. In serie met die gemeenschappelijke rail is het neonlampje L_6 aangesloten, geshunt door de weerstand R_{45} .

Zijn alle knoppen uitgeschakeld, dan liggen dus aan alle electroden de daarvoor bestemde spanningen en is de meter M bijv. opgenomen in de anode- of schermroosterleiding, zoodat de stroom van deze electroden wordt gecontroleerd. Wat gebeurt er nu bij het drukken op de verschillende knoppen?

Veronderstellen wij, dat (zooals fig. 8 aangeeft) de gloeidraad ligt aan de contacten 2 en 3, de kathode aan 1, het stuurrooster aan 4, het schermrooster

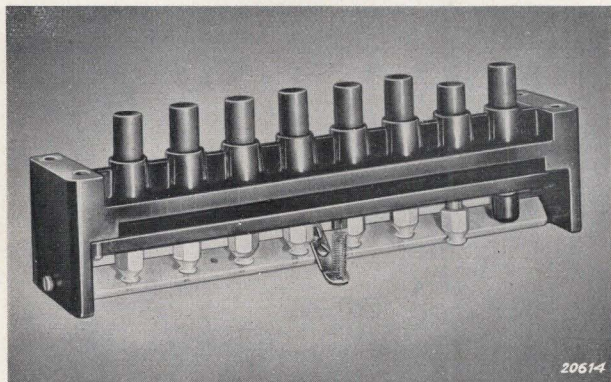


Fig. 9. Achtvoudige drukknopschakelaar.

aan 5, het vangrooster aan 6 en de anode aan 8, en dat alle drukknoppen in de uitschakelstand staan, dan zal bij een goede lamp door de meter M een zekere stroom aangewezen worden. Valt de wijzer van de meter nu op het gedeelte van de schaal, dat blauw gekleurd is, dan heeft de lamp voldoende anodestroom. De anodestroom ligt dan boven de door ons gestelde afkeurgrens. Deze ligt op het einde van het roode vak van de meter. Drukken wij nu op de knop, gemerkt M , dan wordt hierdoor de weerstand R_{46} opgenomen in de potentiometer voor de negatieve roosterspanning en stijgt de negatieve roosterspanning 2 V. De meter van de anodestroom zal eenige schaaldeelen terugloopen en dit aantal schaaldeelen is bij een bepaalde lamp en met een bepaalde kaart een maat voor de steilheid van de lamp in het meet- (werk-) punt.

Drukken we nu op de knop 1, dan wordt de kathodeleiding onderbroken en wordt de kathode via het neonlampje L_6 gelegd aan een spanning van -200 V tenopzichte van het gemeenschappelijke nulpunt van de geheele schakeling. Met een warme kathode zal het neonlampje L_6 vol gaan branden. Deze meting is zoo belangrijk, omdat men op deze wijze constateeren kan, dat de kathode „emiteert”, ook al zou er bijv. een onderbreking in de anodeleiding zijn en dus de meter van de anodestroom geen uitslag aanwijzen. Drukt men vervolgens op knop 4 (knop 1 springt daardoor automatisch terug), dan wordt aan het stuurrooster 4 een negatieve spanning van -200 V gelegd. Heeft dit rooster sluiting tegen de kathode gekregen tijdens het warm worden van de lamp, dan licht het neonlampje fel op. Is het rooster echter goed geïsoleerd en goed doorverbonden, dan zal tengevolge van

de hooge negatieve spanning op het stuurrooster de wijzer van de meter op nul terugvallen (anodestroom wordt afgeknepen). Was daarentegen de roosterleiding inwendig in de lamp onderbroken, dan zou de meter dus niet reageeren op het neerdrukken van de knop. De onderbreking kan dus onmiddellijk worden geconstateerd. Daar bij deze manipulatie de neonlamp L_6 niet ontsteekt en dus de leiding isoleert, is door middel van weerstand R_{45} toch voor een metallisch contact gezorgd tusschen de electrode en de spanningsbron van -200 V. Geheel hetzelfde geldt bij het drukken op de knoppen 5 en 6. Bij drukken op knop 8 zal de meter direct terugvallen op nul, omdat de leiding, waarin de meter is opgenomen, wordt onderbroken, terwijl daarbij, doordat de anode aan de klem met -200 V wordt gelegd, deze op isolatie wordt onderzocht.

Drukt men tenslotte op de knop P , dan wordt bij een bepaald aantal typen van lampen, afhankelijk van de wijze van het boren van de gaten in de betreffende meetkaarten, de gloeidraad gemeten tenopzichte van de kathode door middel van 200 V in serie met het neonlampje L_6 . Is de isolatie niet voldoende, dan zal het lampje L_6 meer licht gaan geven.

Het waarnemen van breuk van de gloeidraad

Het verlichtingslampje L_5 ligt parallel (vgl. fig. 4) aan de gloeidraadpennen 2 en 3 en wordt gevoed door een wikkeling S_2 van de transformator over de weerstand R_{10} . Het spanningsverval langs R_{10} is zoo groot, dat het lampje L_5 net op zijn juiste spanning brandt. Bij het plaatsen van een radio-lamp in de lamphouder wordt de gloeidraad parallel geschakeld aan het lampje L_5 , de spanning over R_{10} neemt hierdoor sterk toe, het lampje L_5 gaat uit of de lichtsterkte vermindert aanzienlijk. Direct bij het inplaatsen van de te meten lamp kan dus aan het lampje L_5 worden geconstateerd, of de gloeidraad in orde is.

Universeel meetapparaat

Het is een logische stap, wanneer men reeds een zoo compleet apparaat als boven beschreven ter beschikking heeft, dit apparaat ook geschikt te maken voor andere metingen dan aan ontvangststellen. Bij het ontwerpen van het schema is met deze mogelijkheid rekening gehouden. In de contactbussen 1 en 4 (fig. 4) kunnen meetsnoeren worden gestoken, die de te meten stroomen aanvoeren. Teneinde met de in het apparaat aangebrachte meter ook wisselstroom te kunnen

meten, kan de meter ook worden gevoed over een gelijkrichterbrug K_2 .

Door het inplaatsen van aangepaste meetkaarten is het meetapparaat ook geschikt te maken voor:

- het meten van spanningen: wisselstroom en gelijkstroom tot maximaal 500 V.
- het meten van stroomen: wisselstroom en gelijkstroom tot maximaal 1 A.
- het meten van uitgangsspanningen aan radio-ontvangtoestellen.
- het meten van weerstanden van 1 ohm tot 5 Megohm.
- het meten van condensatoren van 1000 $\mu\mu\text{F}$ tot 200 μF .

In fig. 10 is een foto gegeven van de meetkaart voor het meten van weerstanden in het gebied van 1000 tot 100 000 ohm.

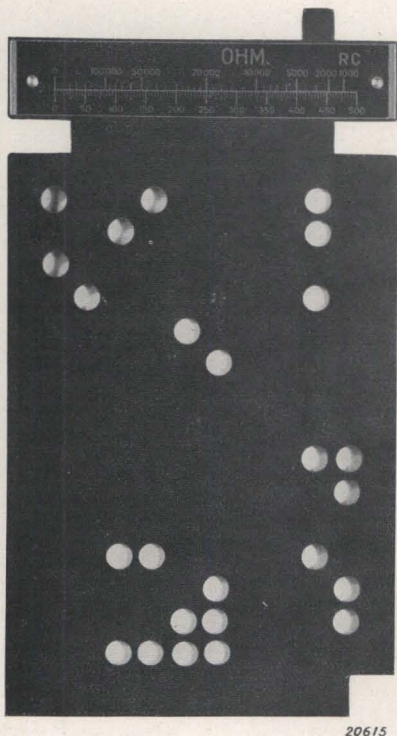


Fig. 10. Foto van de meetkaart voor het meten van weerstanden in het gebied van 1000 tot 100 000 ohm.

Het apparaat heeft verder nog de volgende aangename eigenschap. Wordt nl. bij de boven beschreven metingen de contactbrug geopend en een der knoppen 1 of 4 ingedrukt, dan kunnen met het meetsnoer sluitingen worden geconstateerd. Sluit men de meetpennen kort, dan zal nl. het neonlampje L_6 gaan branden (zie fig. 8). Dit is een zeer gevoelige methode om snel sluiting op te sporen in een radiotoestel, zonder dat het noodig is telkens de meetkaart te verwisselen.

Constructieve bijzonderheden

De contactpennen. Het is begrijpelijk, dat een van de meest belangrijke punten voor de bedrijfszekerheid van dit apparaat de uitvoering van de 140 contactpennen is. De doorsnede van zulk een pistonpen is gegeven in fig. 11. De punt van de

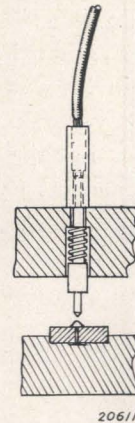


Fig. 11. Doorsnede van een van de 140 contactpennen.

pistonpen is van verzilverd messing. Wanneer, bij een zuiver loodrechte beweging, deze punt wordt geplaatst op een daaronder liggende vlakke strip, bestaat groot gevaar, dat geen voldoende contact wordt gemaakt, indien er een microscopisch laagje oxyde of vuil tussen het contactvlak en de pistonpen aanwezig is. Dit gevaar is het grootst bij contacten, die geen stroom voeren, zoals bijv. de toevoerleiding van het stuurrooster van een radiolamp. Daarom is tegenover de kegelpunt van de pistonpen op de rail een kegelvormig tegencontact aangebracht van massief zilver. Bij het sluiten van de contactbrug glijden deze twee kegels over elkaar gedurende een gedeelte van de slag en op deze manier zijn de contacten zelfreinigend.

De contactbrug. De montage van de contactbrug is zoodanig, dat de beweegbare plaat in enkele minuten kan worden gedemonteerd door het losdraaien van vier moeren en het uitnemen van één as. Op deze wijze zijn al de contactpunten toegankelijk en is het onderhoud eenvoudig.

Vergrendeling. Onderaan de contactbrug bevindt zich een mechanisch bediend contact. De hoofdtransformator van het meettoestel wordt eerst ingeschakeld, doordat een kaart in de contactbrug wordt geplaatst. De uitvoering van dit contact is zoo, dat, indien bij vergissing de kaart foutief in de contactbrug wordt gestoken, het toestel niet kan worden ingeschakeld.

AFSPEELSNELHEID VAN GRAMOFOONPLATEN

door J. DE BOER.

Wordt een gramfoonplaat niet met de juiste snelheid ¹⁾ afgespeeld, dan worden hierdoor zoowel de toonhoogte als het tempo van de gereproduceerde muziek veranderd. In dit laboratorium zijn enkele experimenten gedaan ten einde vast te stellen, hoe het publiek hierop reageert. Een reproductie van Beethoven's 5e symphonie werd met verschillende snelheden afgespeeld en na afloop aan iedere toehoorder (in totaal ongeveer 30 personen) gevraagd, of de snelheid juist, te groot, of te klein was. Het resultaat is in fig. 1 graphisch weergegeven; voor de verschillende snelheden is aangegeven, welk percentage van het publiek de weergave juist vond.

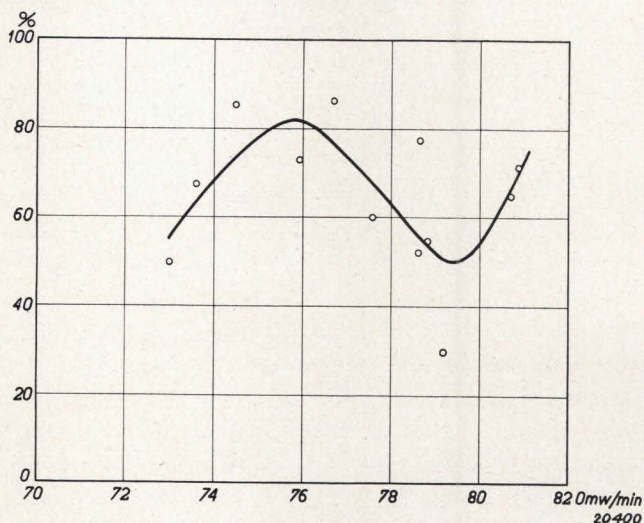


Fig. 1. Percentage der luisteraars, dat de reproductie bij de verschillende afspeelsnelheden als goed kwalificeerde.

De meetpunten zijn tengevolge van het betrekkelijk kleine aantal toehoorders niet geheel zeker, maar het verloop der kromme werd bij een tweede serie experimenten bevestigd. Uit deze figuur volgt, dat de juiste afspeelsnelheid van deze opname

¹⁾ Deze moet gelijk zijn aan de snelheid, waarmee de plaat opgenomen is.

76 omw/min moet zijn, in plaats van 78 omw/min, zooals op de platen aangegeven is.

Dit verschil werd bevestigd door een waarnemer met absoluut gehoor. Volgens dezen waarnemer was de toonhoogte (c-mineur van de gereproduceerde muziek de juiste, wanneer de afspeelsnelheid 76 omwentelingen/min bedroeg. Bovendien zijn van een tweetal op de platen voorkomende tonen, nl. es¹ en g², de frequenties objectief bepaald. Bij een stemming volgens de gelijkzwevende temperatuur met a¹ = 435 hertz moeten deze frequenties resp. 308 en 775 zijn. Beide tonen zijn met behulp van het Philips-Miller-systeem op een filmband geregistreerd. Door de film in de vorm van een band zonder einde door de afspeelmachine te laten lopen, kon de toonhoogte door middel van de zwevingsmethode gemakkelijk vergeleken worden met die van een gecalibreerde toongenerator. De trillingsgetallen hadden de voorgeschreven waarden, als de afspeelsnelheid van de gramfoonplaten 76 ($\pm 0,3$) omw/min bedroeg. Deze waarde komt overeen met het oordeel van het publiek en met die van den waarnemer met absoluut gehoor.

Het is niet waarschijnlijk, dat bovengenoemd verschil in afspeelsnelheid verklaard moet worden door een onjuiste snelheid van de apparatuur, waarmede de platen opgenomen zijn. Vermoedelijk zijn de waarnemers ingesteld op een stemming volgens de gelijkzwevende temperatuur met a¹ = 435 hertz, terwijl het orkest hoger gestemd geweest is.

Het resultaat is, dat het publiek hoort, of toonhoogte en tempo van de weergegeven muziek juist zijn. De kromme in fig. 1 vertoont weer een toename bij ongeveer 80,5 omw/min. Dit kan verband houden met het feit, dat bij deze snelheid de muziek juist een halve toon getransponeerd wordt en in dat geval derhalve gespeeld wordt in een zetting, waarmede het publiek weer meer vertrouwd is.